

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE BELAS-ARTES



**“O desenho, A Biomimética e a Produção de cor
estrutural no caso da família Lepidopteran com o foco
na borboleta Morpho didius.”**

ANEXOS

Juliana Cavalcanti Timotheo da Costa

Trabalho de Projeto
Mestrado em Desenho

Trabalho de Projeto orientado pelo Prof. Pedro Salgado

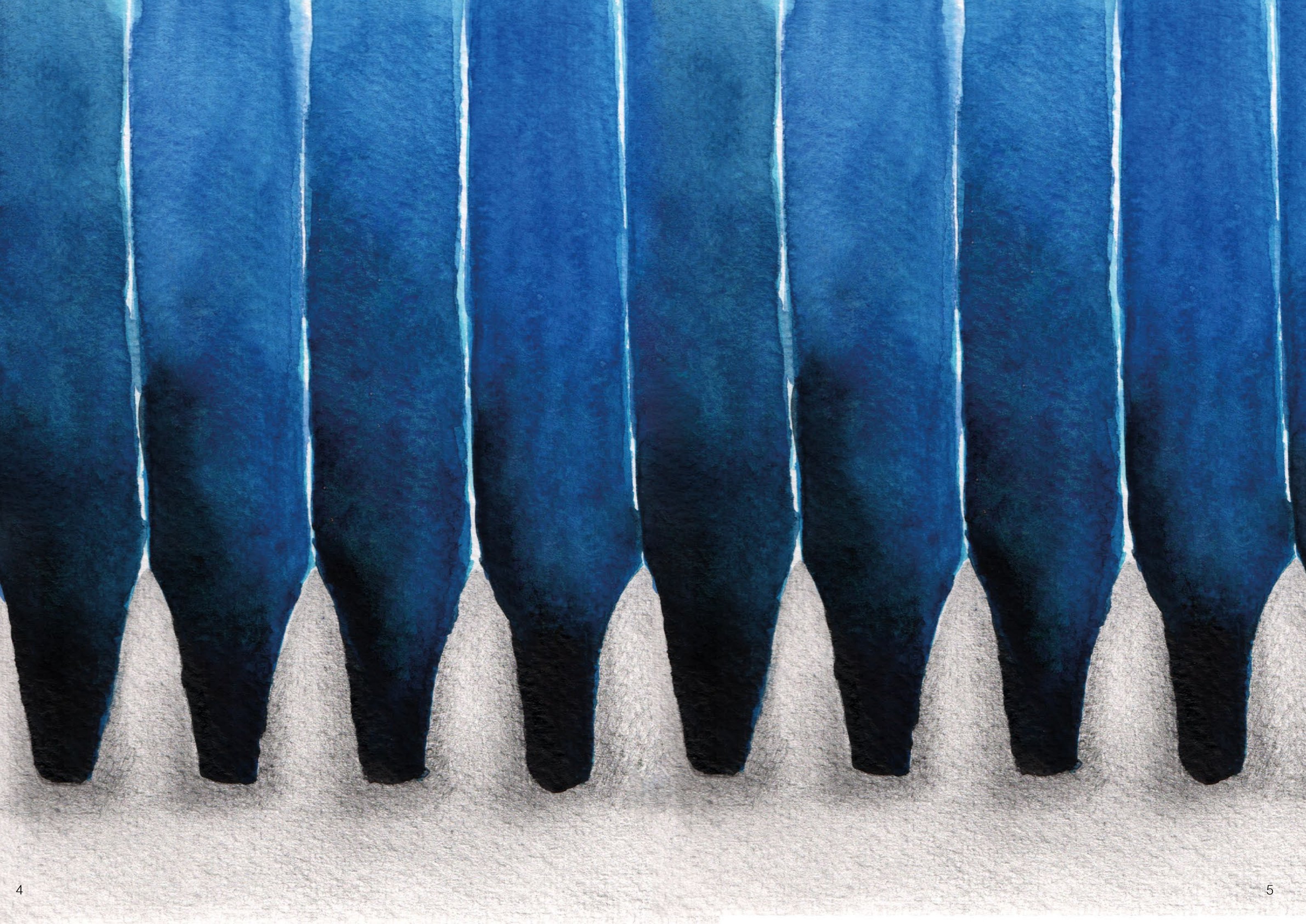
2018

A cor na Natureza

EDIÇÃO PILOTO

TEXTO E ILUSTRAÇÕES DE J C T C .

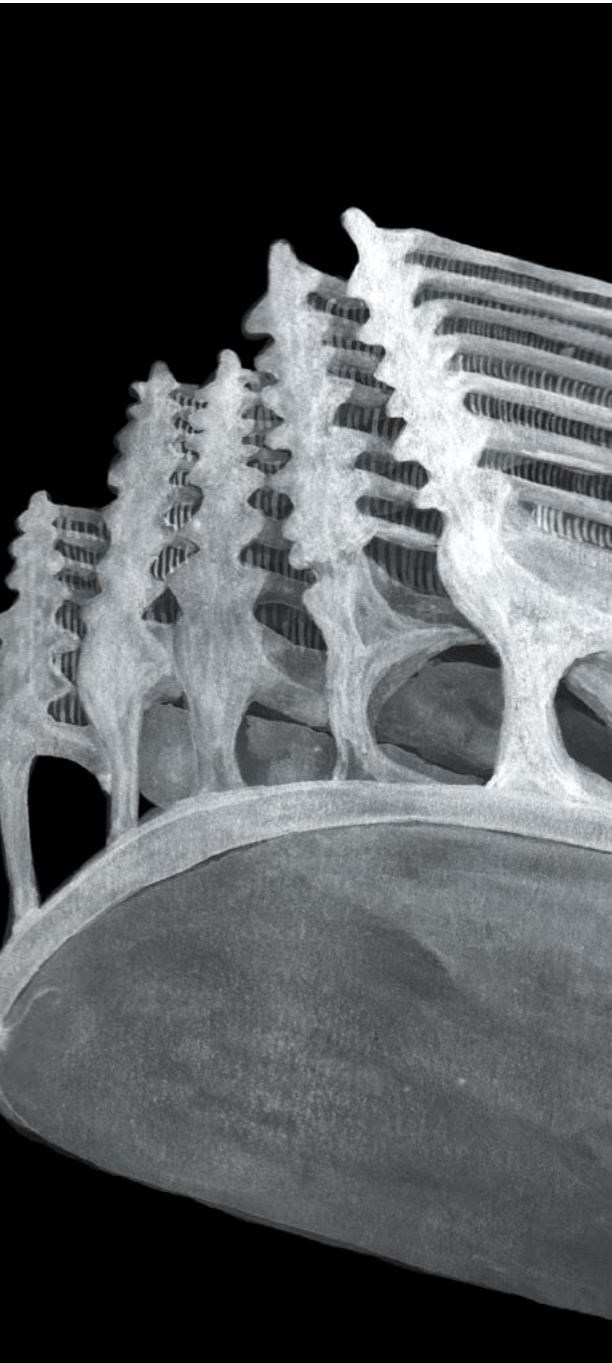
2018





sumário

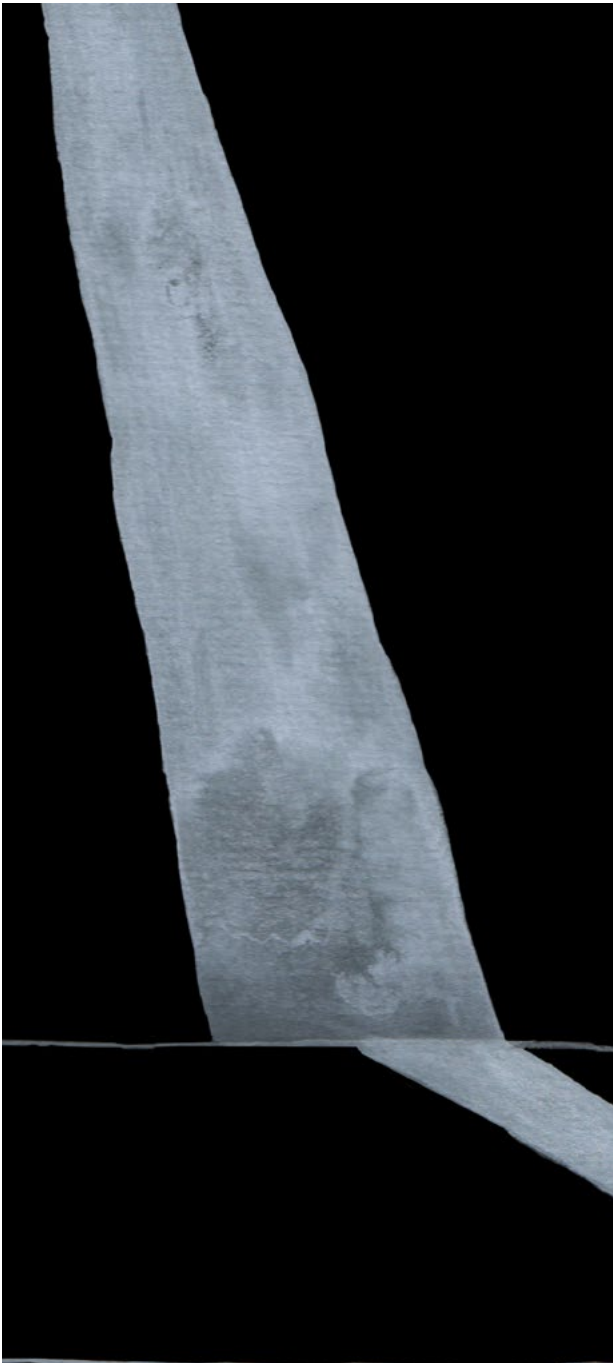
- 6** Investigadores e Ciência
- 8** A cor na natureza
 - 8** A Luz
 - 10** As cores
- 16** A cor estrutural
 - 16** Refração e Índice de Refração
 - 18** Dispersão da Luz
 - 20** Difração e Grades de Difração
 - 22** Interferência de Filmes Finos e Múltiplas Camadas
 - 26** Cristais Fotônicos
- 28** Lepidopterans
 - 30** Borboletas e Mariposas
 - 32** Escamas e as Estruturas Fotônicas nas Lepidopteran
 - 36** Morfologias das Estruturas das Escamas
 - 42** Morpho
 - 44** Evolução das Morpho
 - 50** Morpho didius
- 68** O Azul e a Iridescencia



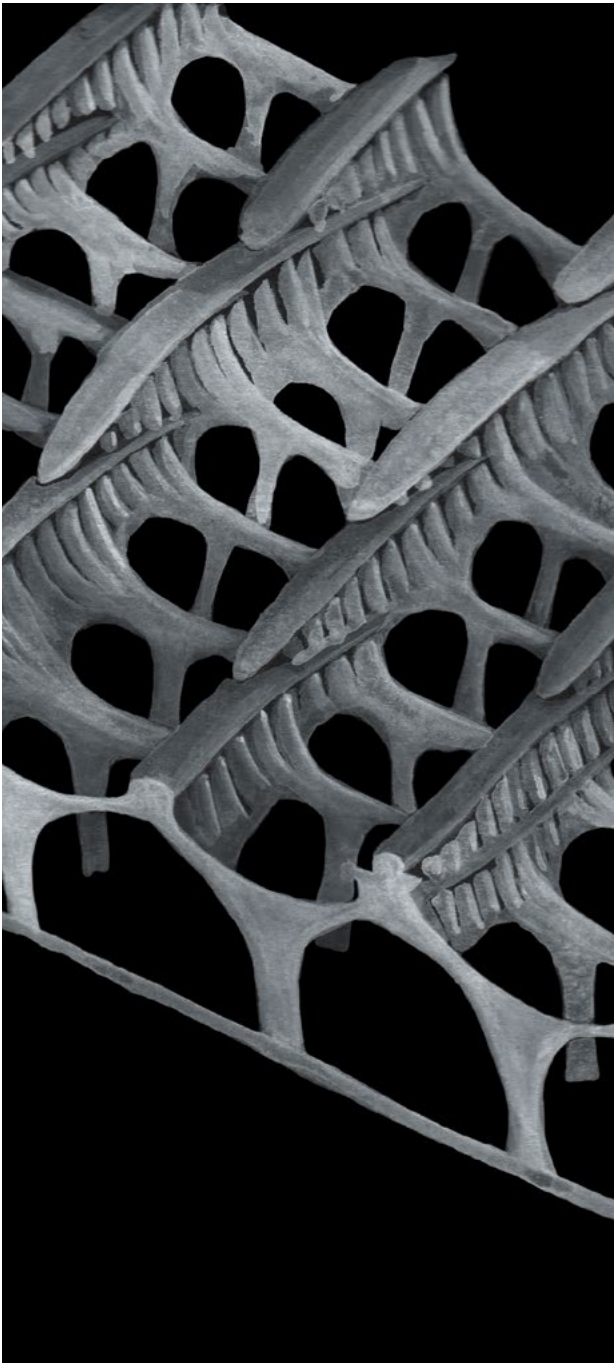
PETER VUKUSIC
SEBASTIAN MOUCHET
Morfologia das escamas
e das estruturas fotônicas
nas Lepidopteran.



R. F.
CHAPMAN
Morfologia das escamas
e das asas na dispersão
dos hormônios sexuais.



ISRAEL
PEDROSA
Conceitos da Luz

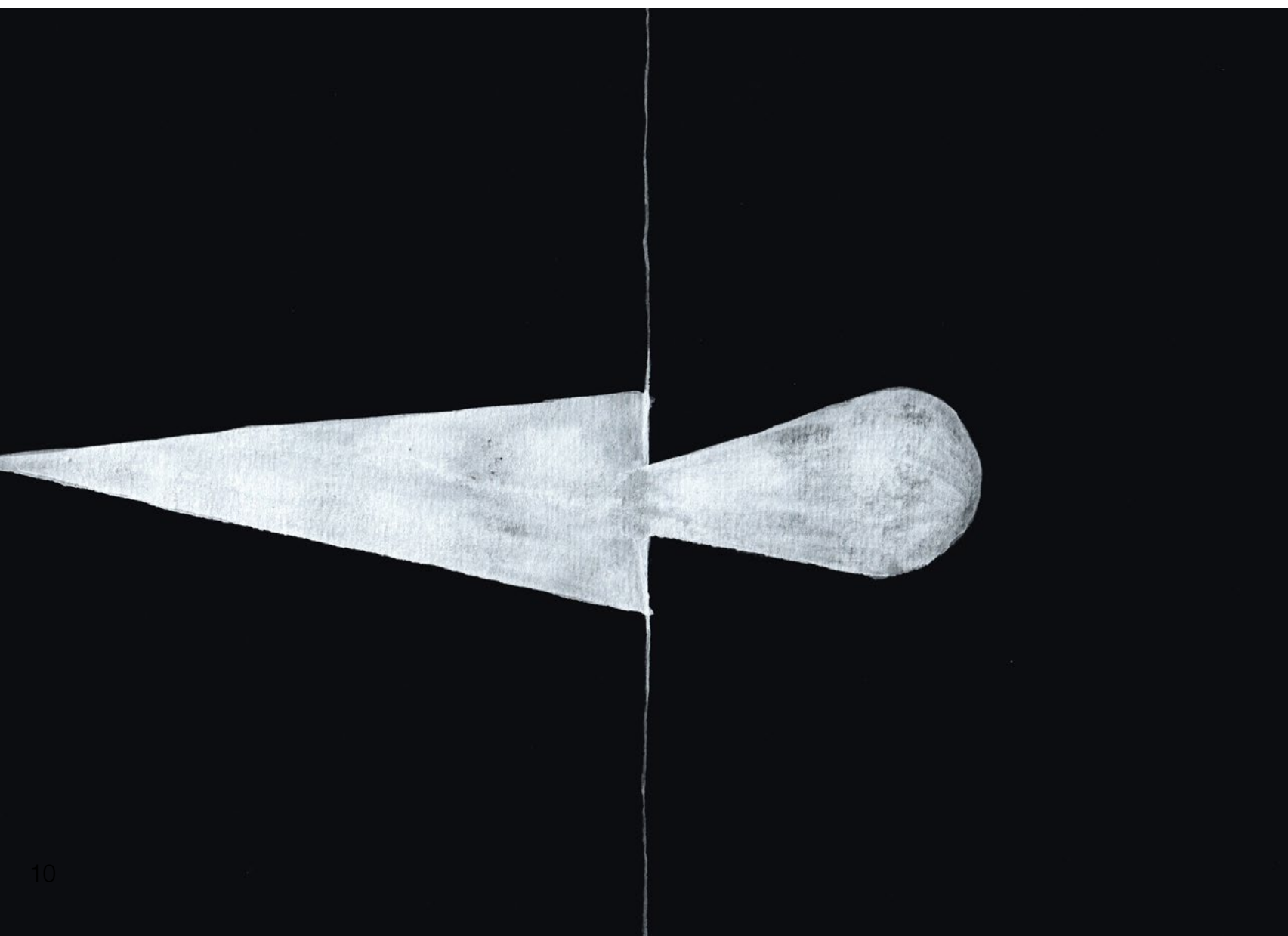


HELEN
GHIRADELLA
A cor na natureza, a cor estrutural
e Modelo nanoestrutural das escamas.



SHUICHI
KINOSHITA
O azul e a iridescência.

A COR NA NATUREZA



elemento determinante para a percepção da cor é a luz. O próprio olho, que a capta, é fruto da sua ação ao longo da evolução da espécie (Israel Pedrosa, autor do livro *Da Cor à Cor Inexistente*, 2010, pág 28). Para investigar as singularidades da luz, a Física dividiu seus estudos em duas partes: Óptica Geométrica, trata do trajeto dos raios luminosos, independente da natureza da luz e Óptica Física, busca a explicação dos fenômenos que estão relacionados à natureza da luz. (Pedrosa, 2010)

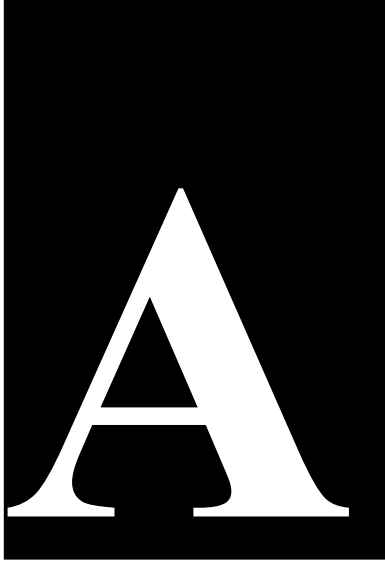
No século XVII a definição de luz se resumia ao que o nosso olho vê e o que causa as sensações visuais. Mesmo nos dias de hoje são encontradas definições como, um tipo de onda eletromagnética ou apenas radiações que podem ser percebidas pelos órgãos visuais, conceitos estes muito vagos. (Pedrosa, 2010) (Kinoshita, 2008)

O físico Herschell fez experiências sobre as propriedades dos raios infravermelhos, cujos limites vão do extremo vermelho visível correspondente a 750nm e continuam até 300.000nm. Então a ciência teve que considerá-los como raios luminosos, já que compartilham das mesmas características da luz que vemos, embora nossos olhos não possam distingui-los. O mesmo acontece com os raios ultravioletas (faixa de 400 a 10nm), facilmente detectáveis e capazes de fazer com que numerosos organismos sob sua ação projetem luzes visíveis com radiações luminescente. (Pedrosa, 2010)

Mesmo longe do espectro visível, os raios de Roentgen e os raios gama também são classificados como raios luminosos. Isso mostra que a visibilidade humana não é condição suficiente para a definição da luz. (Pedrosa, 2010)

A COR NA NATUREZA

As Cores



coloração é a combinação de tons que os organismos ostentam em sua superfície e com as quais se apresentam para o mundo. Ela auxilia na produção de sinais de comunicação, identificação, camuflagem, regulação de temperatura e outros. Funciona como um idioma mudo com o qual o organismo se comunica com a comunidade em que vive. (Ghiradella, H. 2003)

Para os seres humanos, a faixa do espectro visível varia entre 400nm-725nm, violeta até vermelho. Outros organismos como os insectos, enxergam os comprimentos de 300nm-400nm, ultravioleta até violeta. Os organismos podem enxergar diferentes faixas do espectro uns dos outros.

A luz branca é a combinação de todos os comprimentos de onda vistos pelo organismo e o preto é a ausência dos mesmos. A luz colorida é o espectro incompleto no qual apenas uma faixa de onda é percebida. A luz branca interage com a matéria de modos diversos, que serão explicados e se transforma nas cores. (Ghiradella, H. 2003)

A cor na natureza é classificada em três categorias: pigmentos, bioluminescente e estrutural. As cores pigmentares são produtos químicos naturais produzidos em sistemas minerais ou biológicos. (S. Mounchet, P. Vukusic, 2018)

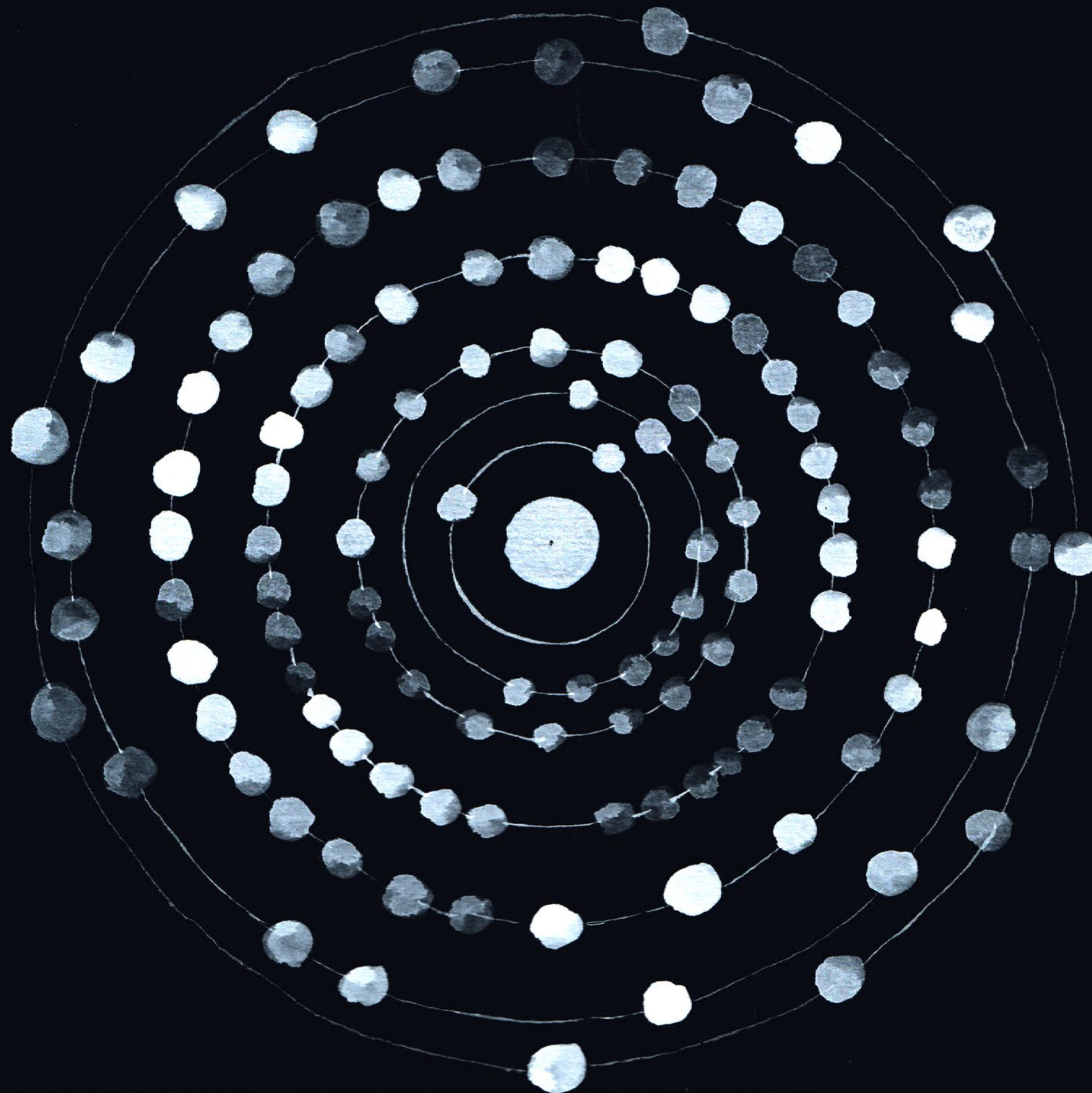
Eles absorvem bandas de cor, subtraindo-as das cores refletidas. É o tipo mais comum, porém é muito fácil encontrar organismos que usam dois ou até três tipos desses mecanismos para produzirem suas cores características. Os pigmentos mais comuns são a melanina, pterina, omocrômio, papiliocromio, principalmente entre os insectos e se encontram

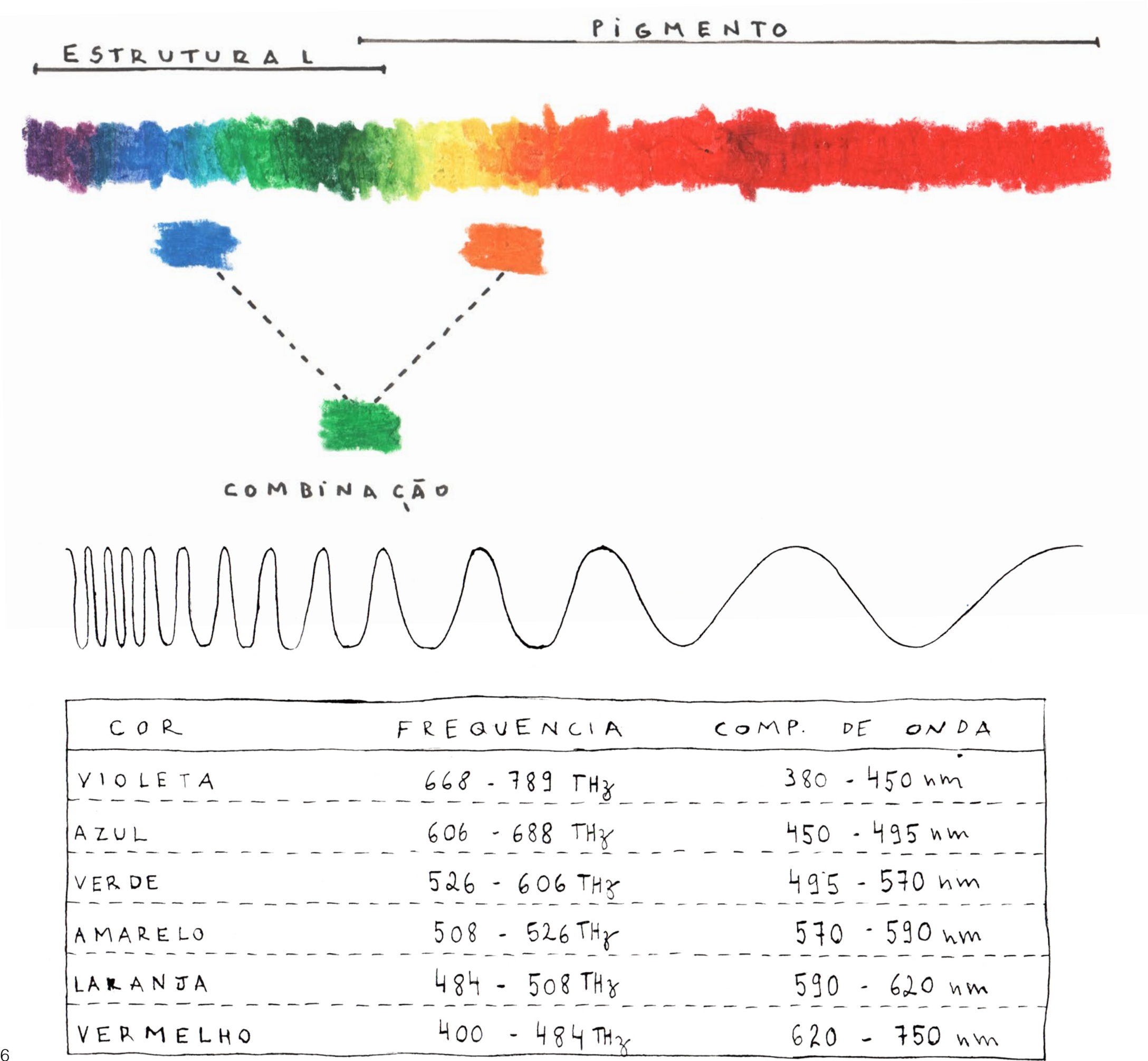
na cutícula, tecidos subjacentes ou até no arranjo intestinal. Costumam produzir a gama das cores mais quentes, como laranja, vermelho, amarelo, marrom, apesar de existirem pigmentos naturais azuis e verdes. (Ghiradella, H. 2003)

A cor bioluminescente é a luz produzida por reações químicas nos tecidos e órgãos de organismos que produzem secreções luminosas que escorrem ou esquicham. O brilho acontece quando os elétrons do átomo da substância retornam a sua camada de origem depois de terem chegado a mais alta e instável camada de energia, e emite ftons, partículas de energia luminosa. (Pedrosa, 2009)

A cor estrutural é a consequência da interação da luz com os índices de refração (IR), que variam entre as nanoestruturas fotônicas (IRnf) e o ar (IRar). A consequência da mudança do IR é a variação da velocidade da luz. (Kinoshita, 2008)

Quanto mais alto o IR, mais devagar a luz propagará no meio e vice-versa. A organização das estruturas fotônicas determina quais comprimentos de onda são refletidos, transmitidos ou cancelados. E geralmente, o comprimento de onda que retorna para o meio ambiente possui quatro vezes o tamanho dos espaçamentos negativos daquelas estruturas. (Ghiradella, H. 2003)





As estruturas fotônicas são biopolímeros de aspecto poroso, por exemplo, a quitina em artrópodes, a queratina em aves, o colágeno em mamíferos ou a celulose em plantas (imagens das fórmulas); além do ar, água ou líquidos fisiológicos. Podem refletir, refratar, dispersar, mas nunca absorver a luz (Mouchet, Vukusic, 2018).

Geralmente, produzem cores frias, por exemplo verde, azul, violeta e ultra-violeta (Ghiradella, H. 2003). A maioria dessas estruturas resultam em cores iridescentes, ou seja, a cor muda conforme o ângulo de incidência da luz e de observação. São resistentes a ação do tempo, em contraste aos pigmentos que se esgotam, perdem a cor e intensidade quando expostos a luz solar. (Mouchet, Vukusic, 2018)

Muitos insetos, pássaros, peixes e plantas utilizam desses mecanismos juntos ou separados para produzir colorações, entre outras funções. Por exemplo, o azul estrutural pode ser adicionado ao pigmento vermelho e gerar o roxo luminoso. A cor estrutural pode ser intensificada devido aos pigmentos posicionados abaixo das estruturas fotônicas que absorvem parte da luz, diminuindo a gama de comprimentos de onda refletidos e consequentemente, o branqueamento da cor. (Ghiradella, H. 2003)

A COR ESTRUTURAL

Refração e Índice de Refração

S

ão vários os mecanismos que produzem cor estruturalmente. Tudo depende se a matéria da estrutura fotônica refrata ou espalha a luz. A primeira, polariza a luz em diferentes comprimentos de onda que vão em ângulos distintos; no segundo, a luz é fragmenta mas não despolarizada, ou seja, são redirecionamentos com a mesma característica de combinação dos comprimentos de onda.

Os mecanismos e efeitos apresentam-se em formatos diversos: Interferências de Filmes Finos e Interferências em Múltiplas Camadas, Difração da luz e Grades de Difração, Cristais Fotônicos e Dispersão da luz. (Kinoshita, 2008)

Índice de Refração

A Refração é o fenômeno em que a luz é transmitida de um meio para o outro, alterando a sua velocidade mas não é polarizada, ou seja, não muda de cor.

O índice de refração é determinado pela diferença entre a velocidade da luz no vácuo pela velocidade da mesma no meio em questão.

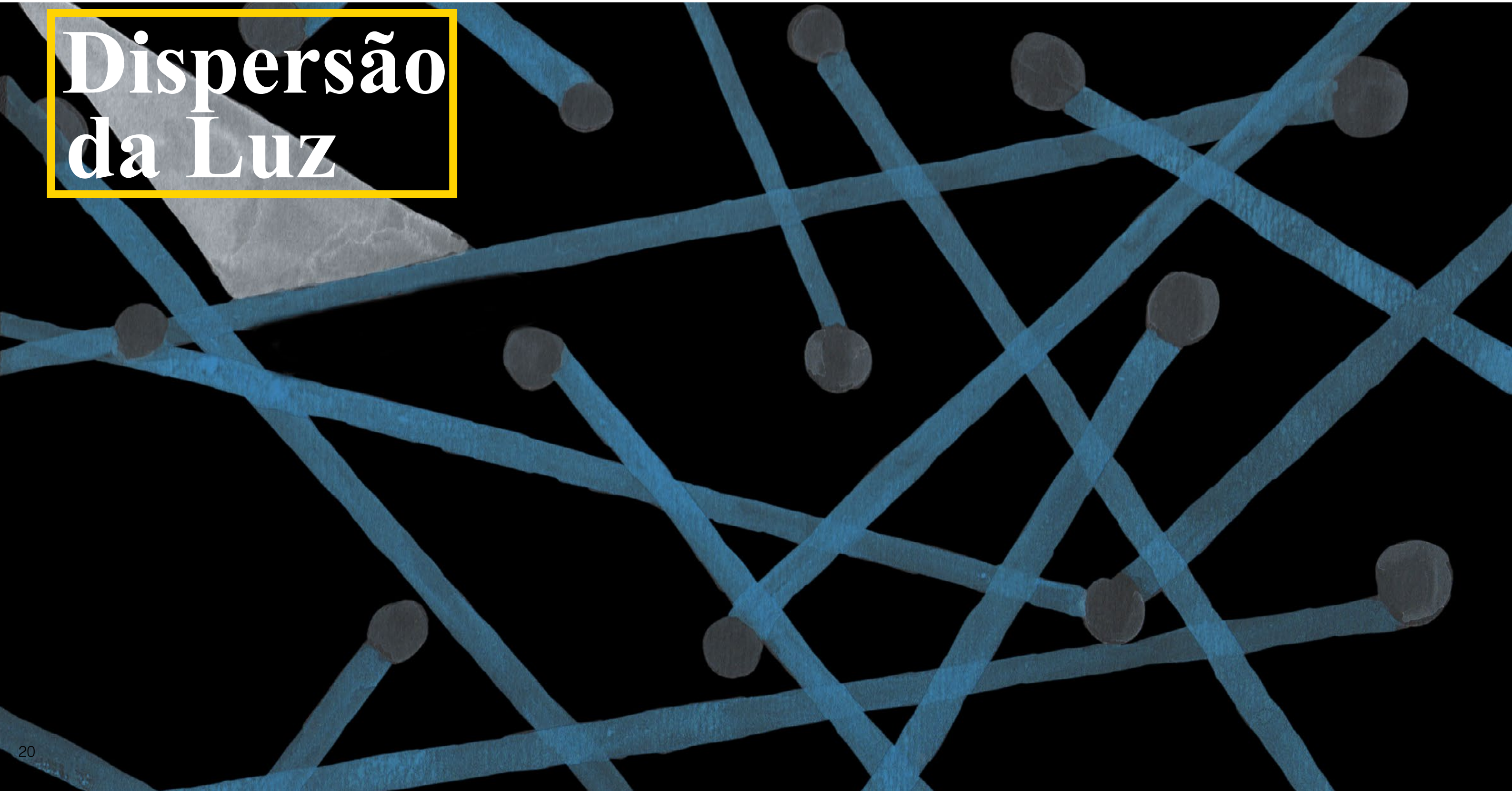
$$n = \frac{V_{\text{VÁCUO}}}{V_{\text{AR}}}$$

A COR ESTRUTURAL

Dispersão da Luz

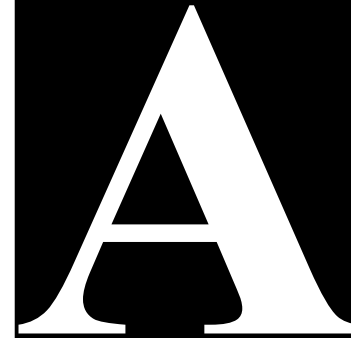
A

dispersão da luz branca ocorre quando ela encontra um conjunto ordenado ou não de moléculas, partículas ou estruturas que fragmenta a luz branca e alguns dos comprimentos de onda refletem em direções aleatórias. A cor resultante mais comum é o azul não-iridescente. Exemplos são o céu azul e o insecto *Pachydiplax longipennis*. (Ghiradella, H. 2003)



A COR ESTRUTURAL

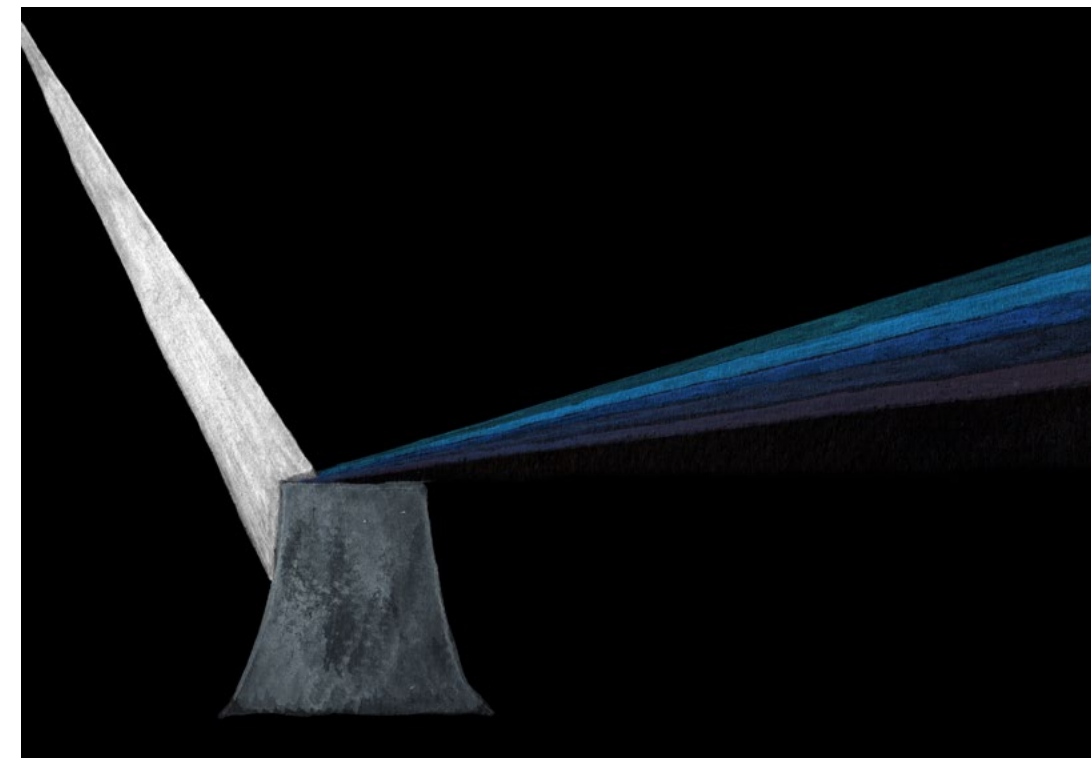
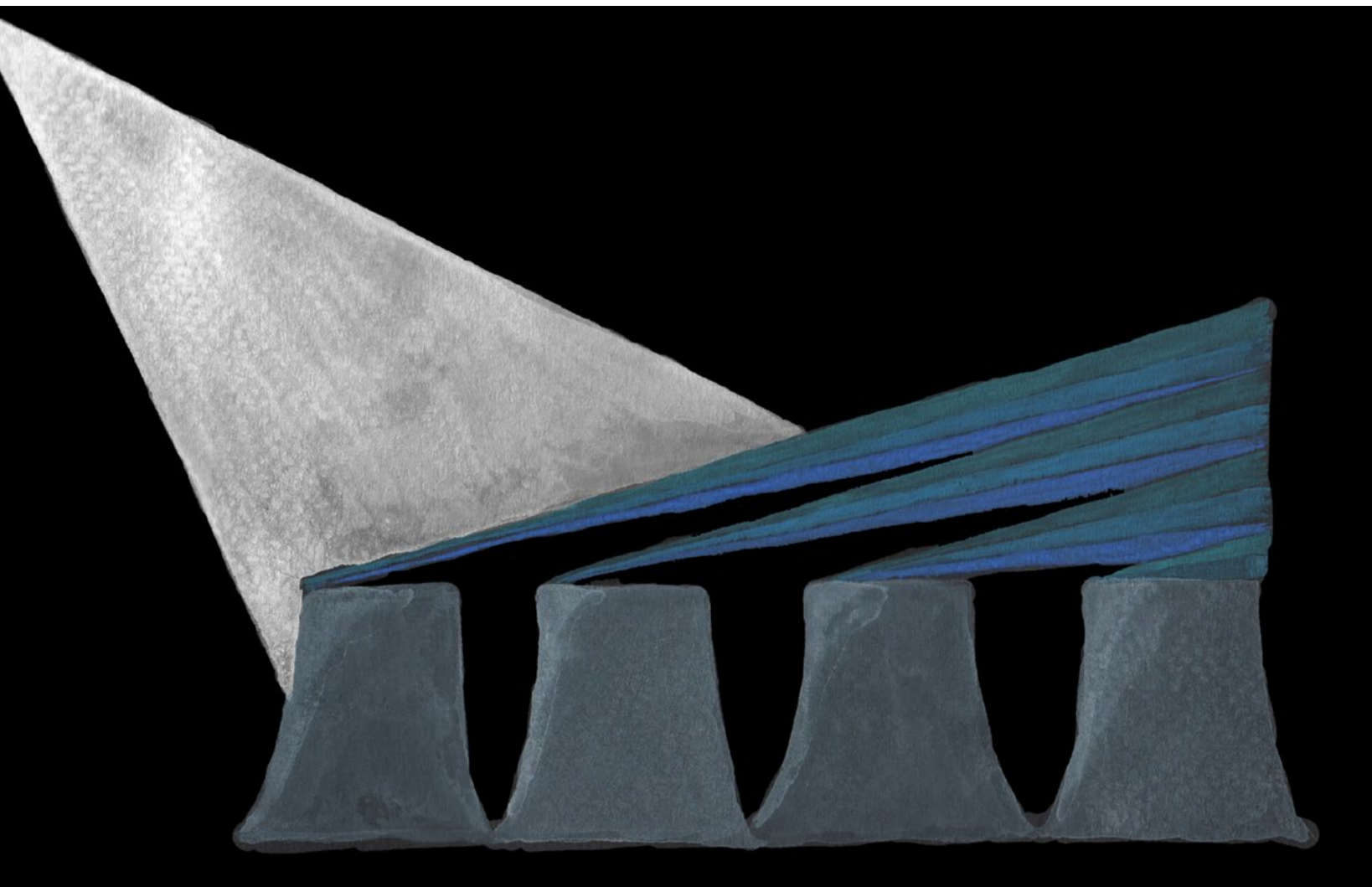
Difração e Grades de Difração



difração acontece quando a luz contorna ou passa por obstáculos como orifícios, bordas de fendas, ondas ou cumes com ordens de grandeza proporcionais ao seu tamanho. Essa é a condição para a difração acontecer.

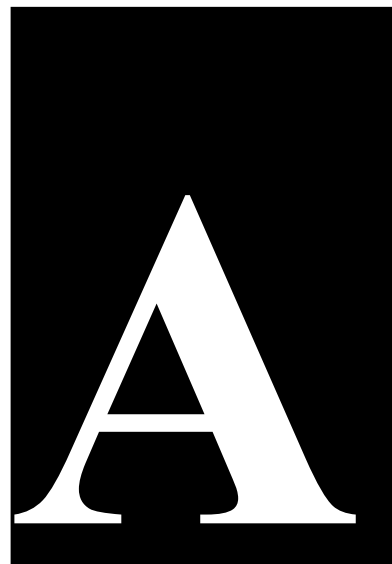
A luz que sofre difração não necessariamente é fragmentada em cores, apesar de ser possível acontecer. Pode também sofrer alteração na sua forma de propagação: ao invés de seguir em linha reta, depois do obstáculo passa a ser curva (Kinoshita, 2007).

Quando isso ocorre numa grade de difração, um espaço com bordas e repetições de cumes regularmente espaçados, o fenômeno inicia-se no primeiro obstáculo e reincide igual e continuamente ao longo das repetições da estrutura, fortalecendo a predominância das cores refletidas ou transmitidas no primeiro obstáculo transposto pela luz. O efeito é iridescente. (Ghiradella, H. 2003)



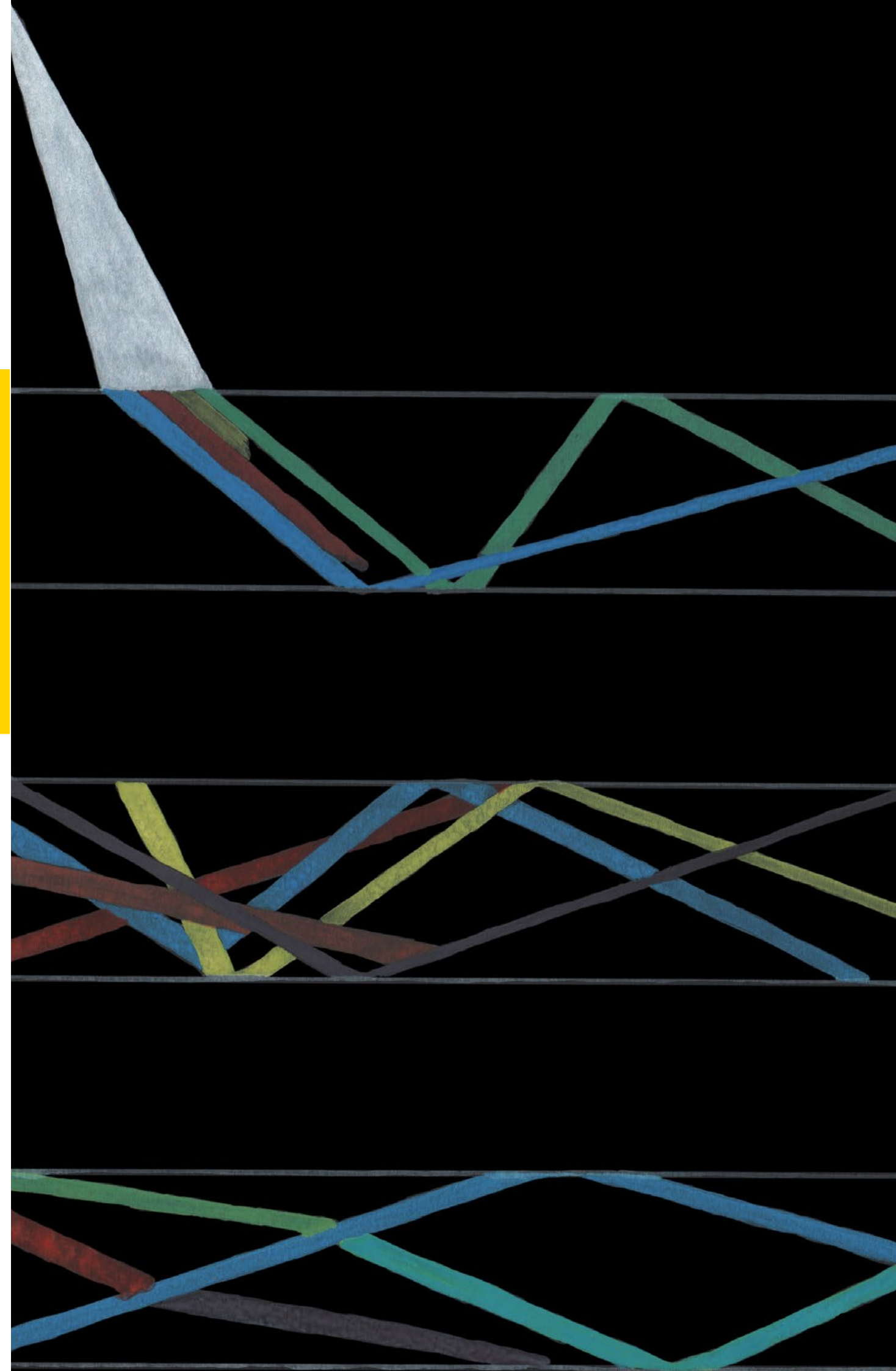
A COR ESTRUTURAL

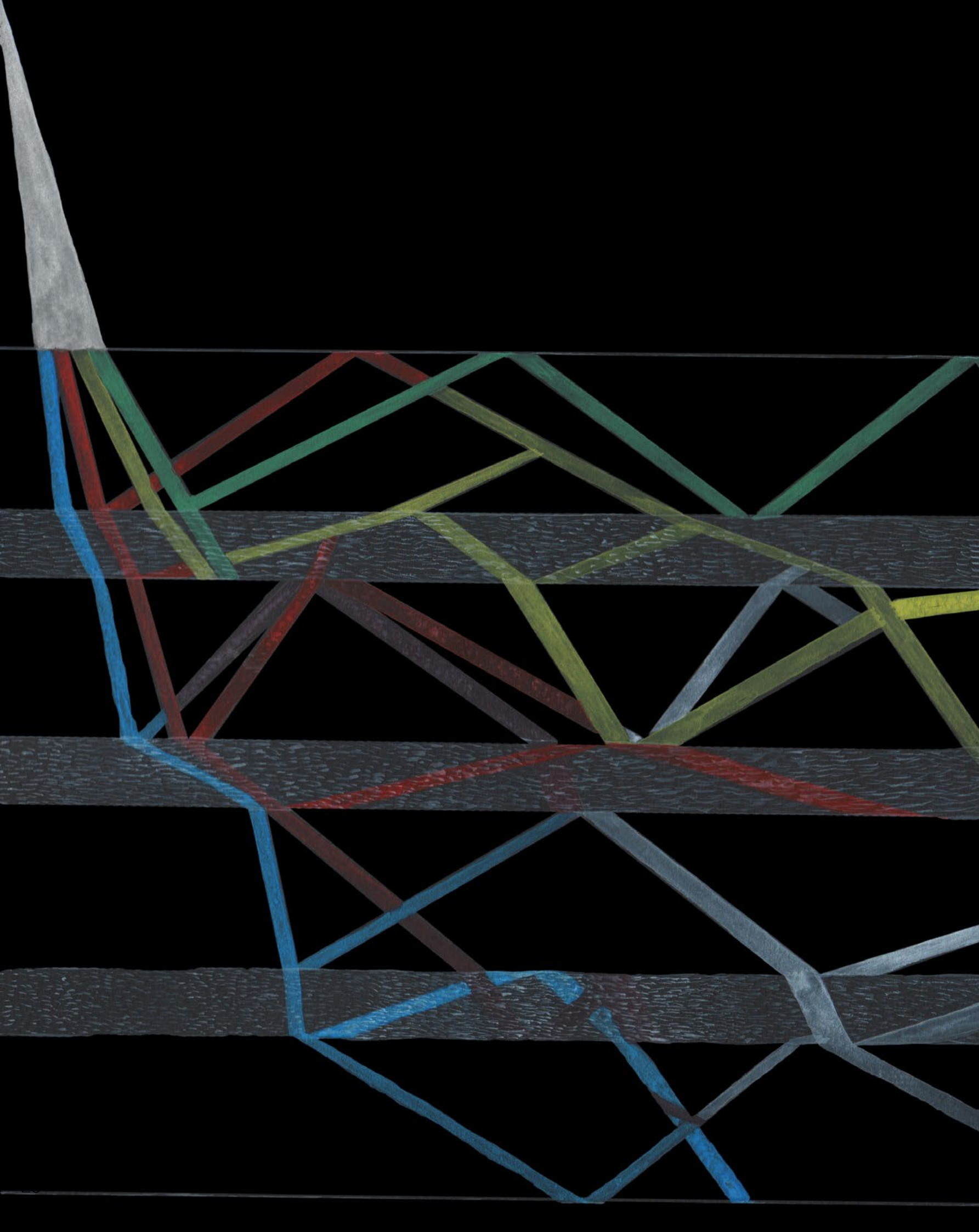
Interferência de Filmes Finos e Múltiplas Camadas



interferência caracteriza-se pela fragmentação da luz branca em faixas do espectro graças a sua infiltração em camadas super finas de matéria com índice de refração diferente ao meio em a luz estava a propagar.

As bandas de cor assumem velocidades e trajetos diferentes batendo nas películas superior e inferior do filme. Conforme a geometria dos caminhos e o ponto de vista observado, as bandas unem-se ou se anulam-se, fenômenos nomeados respectivamente por Interferência Construtiva e Interferência Destrutiva. O efeito é iridescente e o exemplo são as cores na bolha de sabão. (Ghiradella, H. 2003)





A união dos factores:

condição
da geometria
e tamanho
dos percursos
feitos.
a grossura ótica
do filme fino.
Grandeza
expressa por:
 $IR \times \text{grossura física.}$

o ângulo de penetração da luz. Um feixe que incide inclinado ao filme, passa por um caminho maior que os que entram perpendicularmente no mesmo.

o índice de refração que determina a velocidade e a união ou anulação de bandas de cor.

Quanto mais aguda a incidência da luz, menores os comprimentos de onda refletidos, como os azuis e violetas. Ângulos mais oblíquos, projetam as cores mais quentes, como os vermelhos e laranjas. Da mesma forma que esse sistema varia as bandas de cor refletidas, o mesmo acontece com a luz transmitida: o que não é refletido é transmitido para o ambiente, para outras camadas seguidas de filme e/ou para pigmentos que as absorverão, caso estejam presentes. (Ghiradella, H. 2003)

O mais eficiente entre os sistemas de refletores é a sobreposição de filmes finos separados por ar. (Ghiradella, H. 2003)

Quando todos os filmes são equivalentes em IR e espessura ótica, as cores emergentes são relativamente puras, pois tudo o que é refletido ou transmitido é uma constante. Na ocasião em que os filmes são mais grossos, eles reduzem

A COR ESTRUTURAL

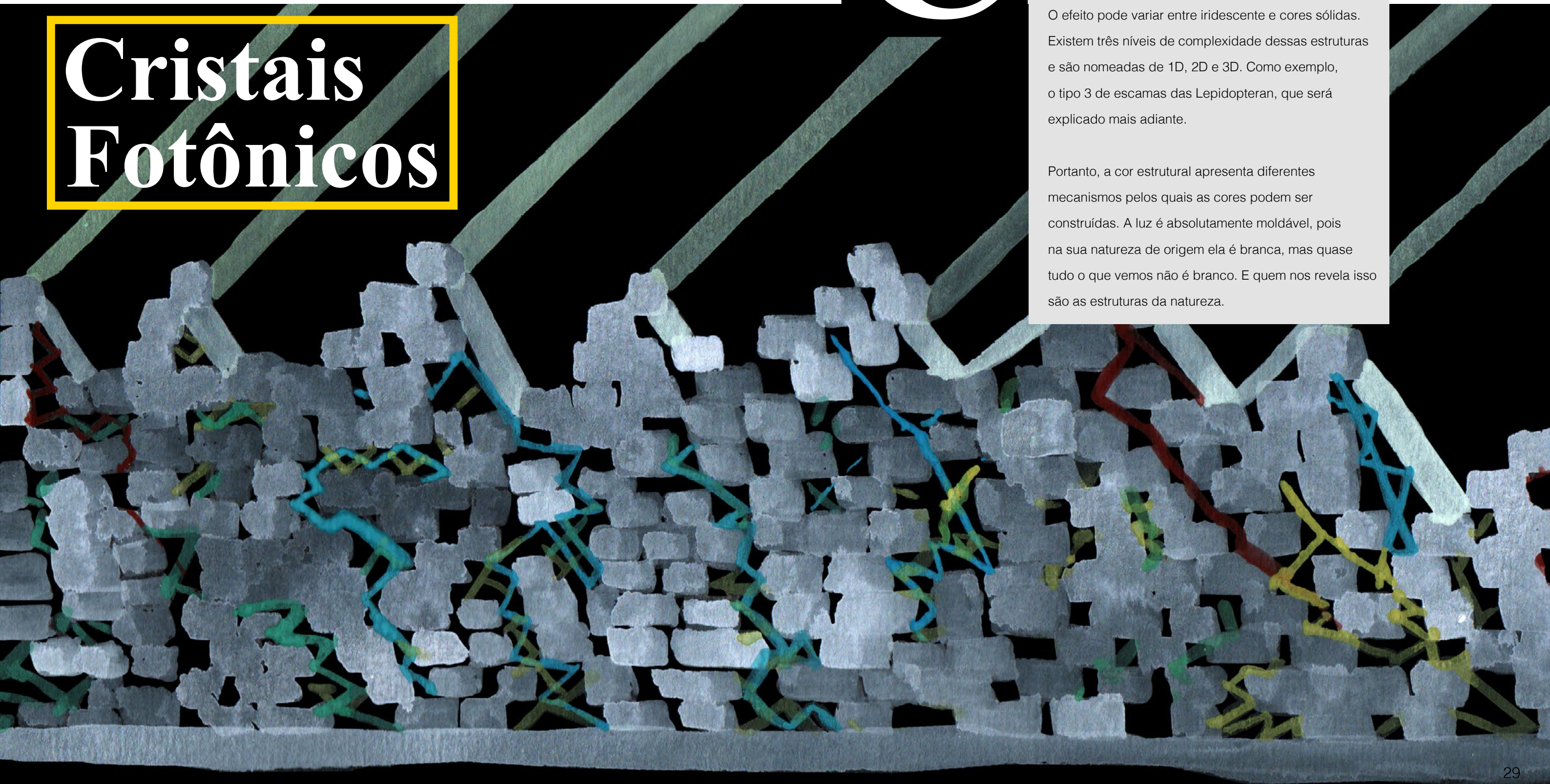
Cristais Fotônicos

C

aracteriza-se quando pequenas partículas idênticas são agrupadas ordenadamente onde a luz disperça-se, sofre interferência e o resultado obtido emite radiações secundárias em direções regulares, o que significa que as cores mesmo que iridescentes, são mais estáveis.

O efeito pode variar entre iridescente e cores sólidas. Existem três níveis de complexidade dessas estruturas e são nomeadas de 1D, 2D e 3D. Como exemplo, o tipo 3 de escamas das Lepidopteran, que será explicado mais adiante.

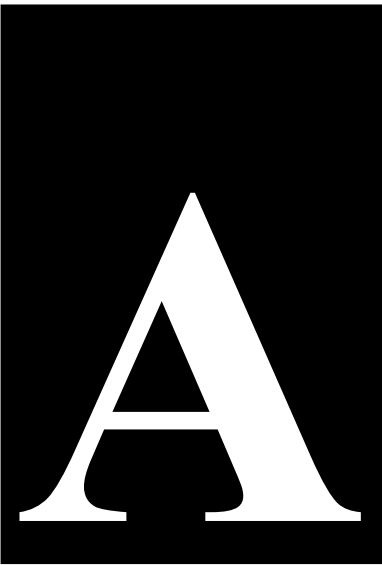
Portanto, a cor estrutural apresenta diferentes mecanismos pelos quais as cores podem ser construídas. A luz é absolutamente moldável, pois na sua natureza de origem ela é branca, mas quase tudo o que vemos não é branco. E quem nos revela isso são as estruturas da natureza.



LEPIDOPTERAN

**Borboletas
e Mariposas**

SUPERFAMÍLIA	FAMÍLIA	SUBFAMÍLIA	ESPÉCIE
Hesperioidea	Hesperiidae	Coeliadinae	75
		Pyrrhopyginae	150
		Pyrginae	1 000
		Heteropterinae	150
		Trapezitinae	60
		Hesperiinae	2 000
Papilionoidea	Papilionidae	Baroniinae	1
		Parnassiinae	70
		Papilioninae	550
	Pieridae	Pseudopontiinae	1
		Dismorphiinae	100
		Pierinae	700
	Lycaenidae	Coliadinae	250
		Riodininae	1 250
		Poritiinae	530
		Miletinae	150
		Curetinae	18
		Lycaeninae	4 000
	Nymphalidae	Libytheinae	12
		Heliconiinae	400
		Nymphalinae	350
		Limenitinae	1 000
		Charaxinae	400
		Apaturinae	430



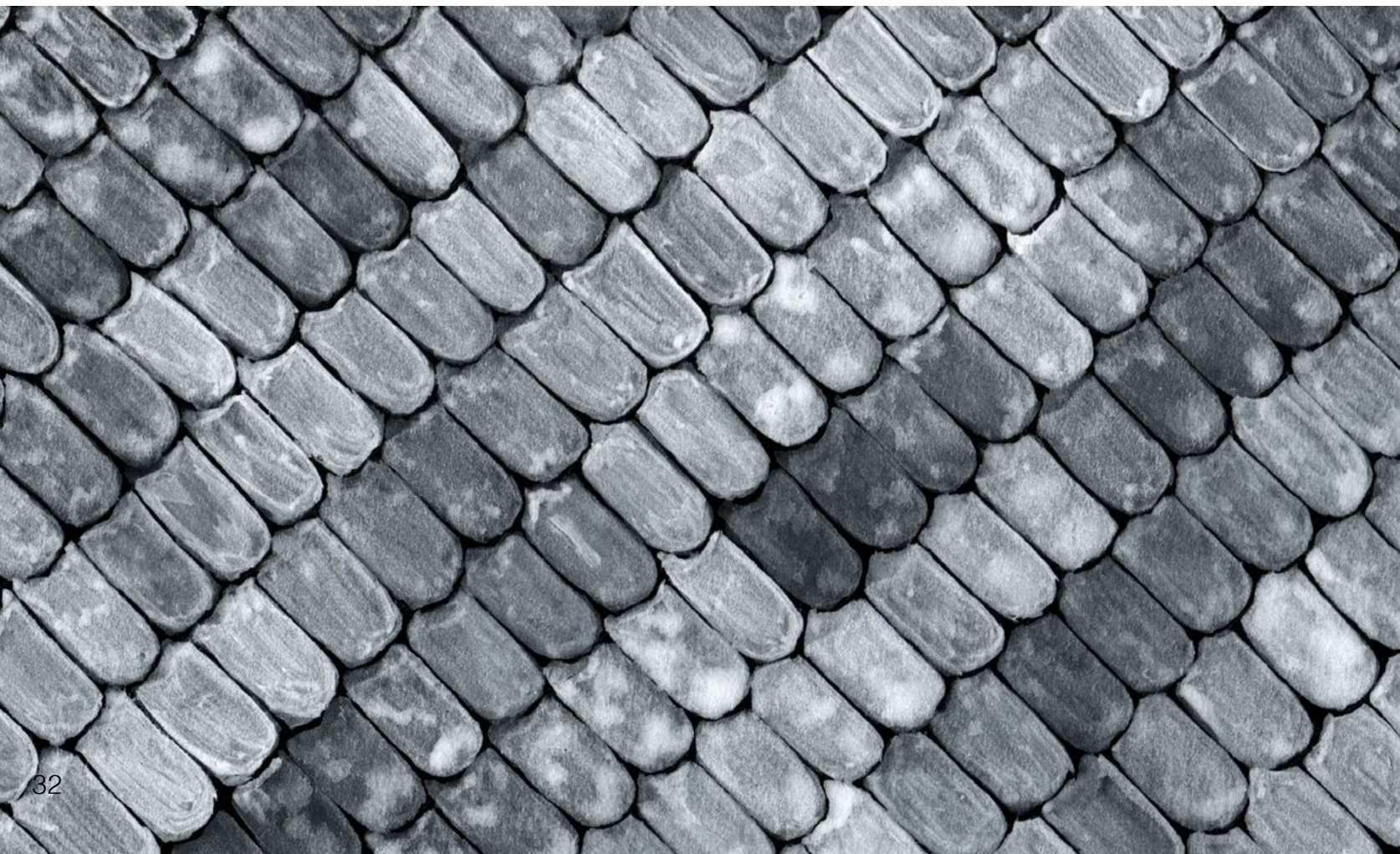
s Lepidopterans compõe um dos mais notáveis e intrigantes grupos de insectos e atraí bastante atenção das atividades artísticas e científicas desde os primórdios das civilizações. A variedade de cores desse grupo são extensamente estudadas pelas qualidades ópticas, como a iridescência, reflexão de banda estreita, efeitos de polarização e mistura de cores aditivas. (Kinoshita, 2007)

O número de espécies é estimado em 150,000 e cresce a cada ano com as novas descobertas. A princípio são classificadas em 46 famílias. O nome “borboleta” corresponde a três super famílias: Papilionoidea, Hesperioidea e Hedyloidea. Todas as outras espécies são classificadas como mariposas. (Kinoshita, 2007)

A primeira super família possui quatro famílias e elas são: Papilionidae (caudas de andorinha), com 3 famílias e 621 espécies; a Pieridae (brancas e sulfúricas), com 4 famílias e 1051 espécies; a Lycaenidae (azuis, cobre e marcas metálicas), com 5 famílias e 5948 espécies e Nymphalidae (marrons, admirals e monarcas), com 10 famílias e 5680 espécies. A segunda grande família, com cerca de 3500 espécies inclui apenas as Hesperiodiae (skippers) que é divida em cinco subfamílias, as Coeliadinae, Pyrrhopyginae, Pyrginae, Heteropterinae e Trapezitinae. E a terceira super família, a Hedyliidae com 1 família e 40 espécies. (Kinoshita, 2007)

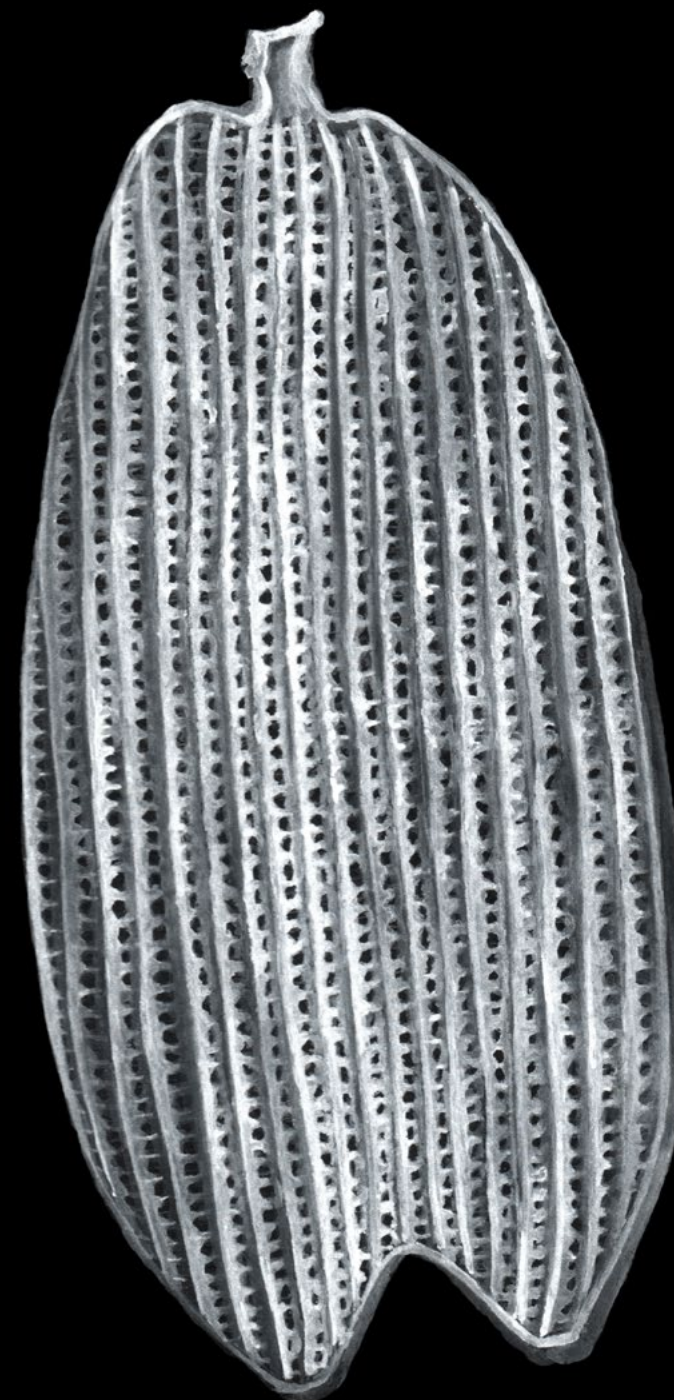
LEPIDOPTERAN

Escamas e as Estruturas Fotônicas



A

s Lepidopterans são caracterizadas pelas asas cobertas de escamas, sobrepostas e organizadas como telhas num telhado. O formato das escamas é fino e em lâminas. Ficam presas nos dois lados da membrana por hastes flexíveis em espaços chamados socket.

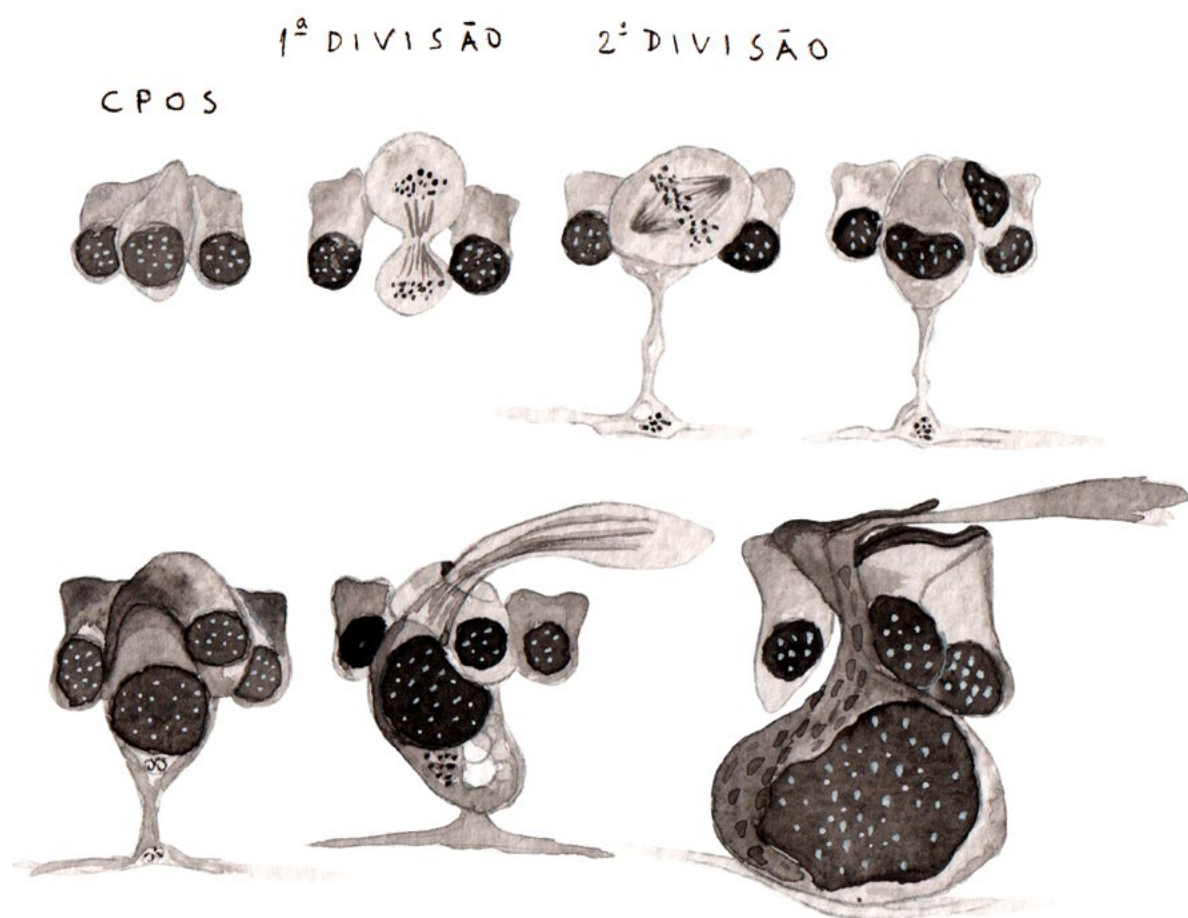


100µm



200µm

3µm

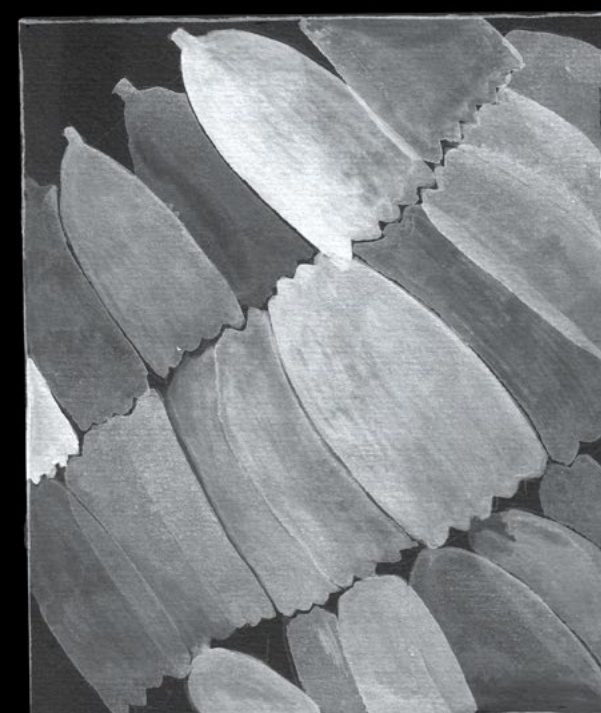
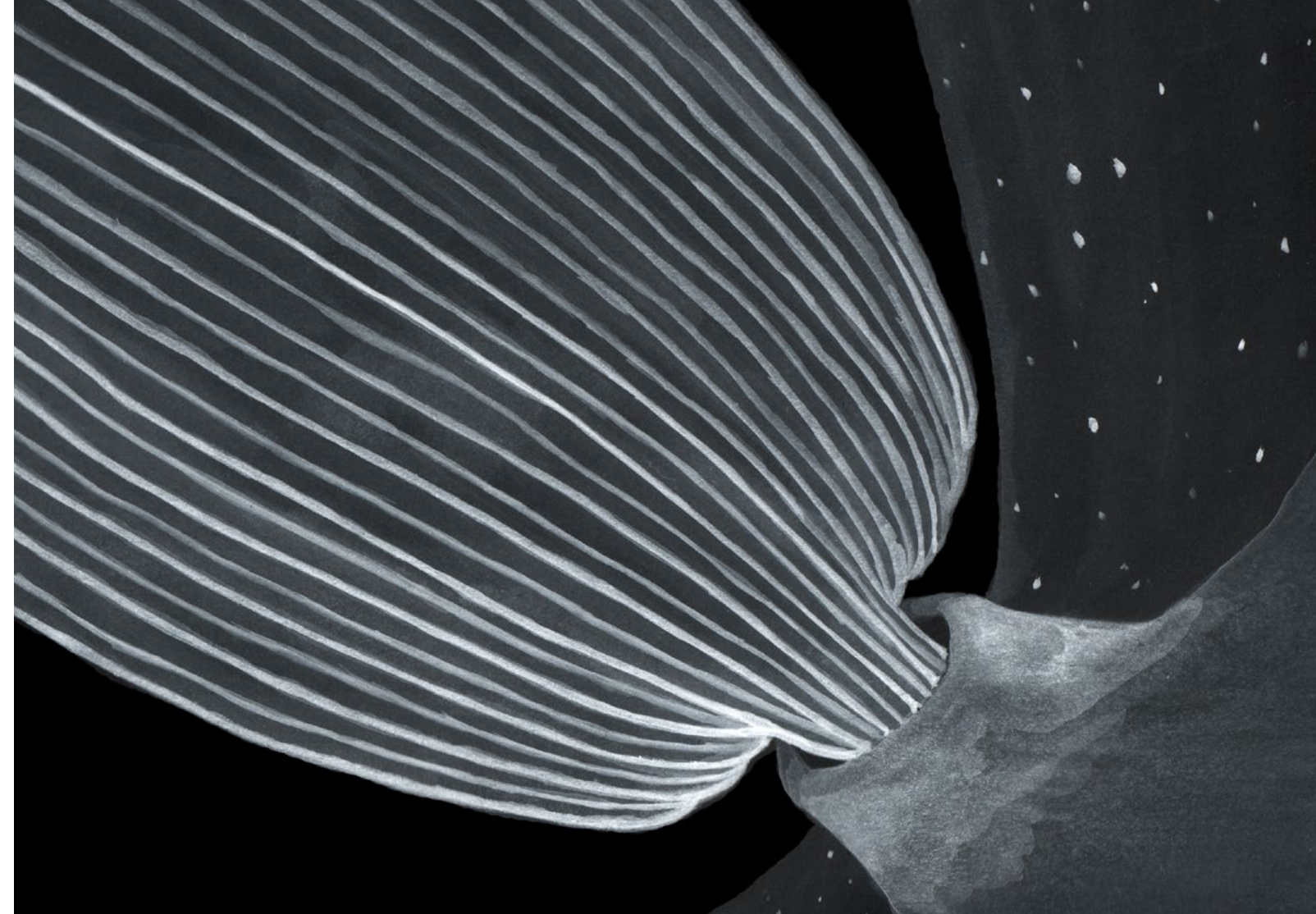


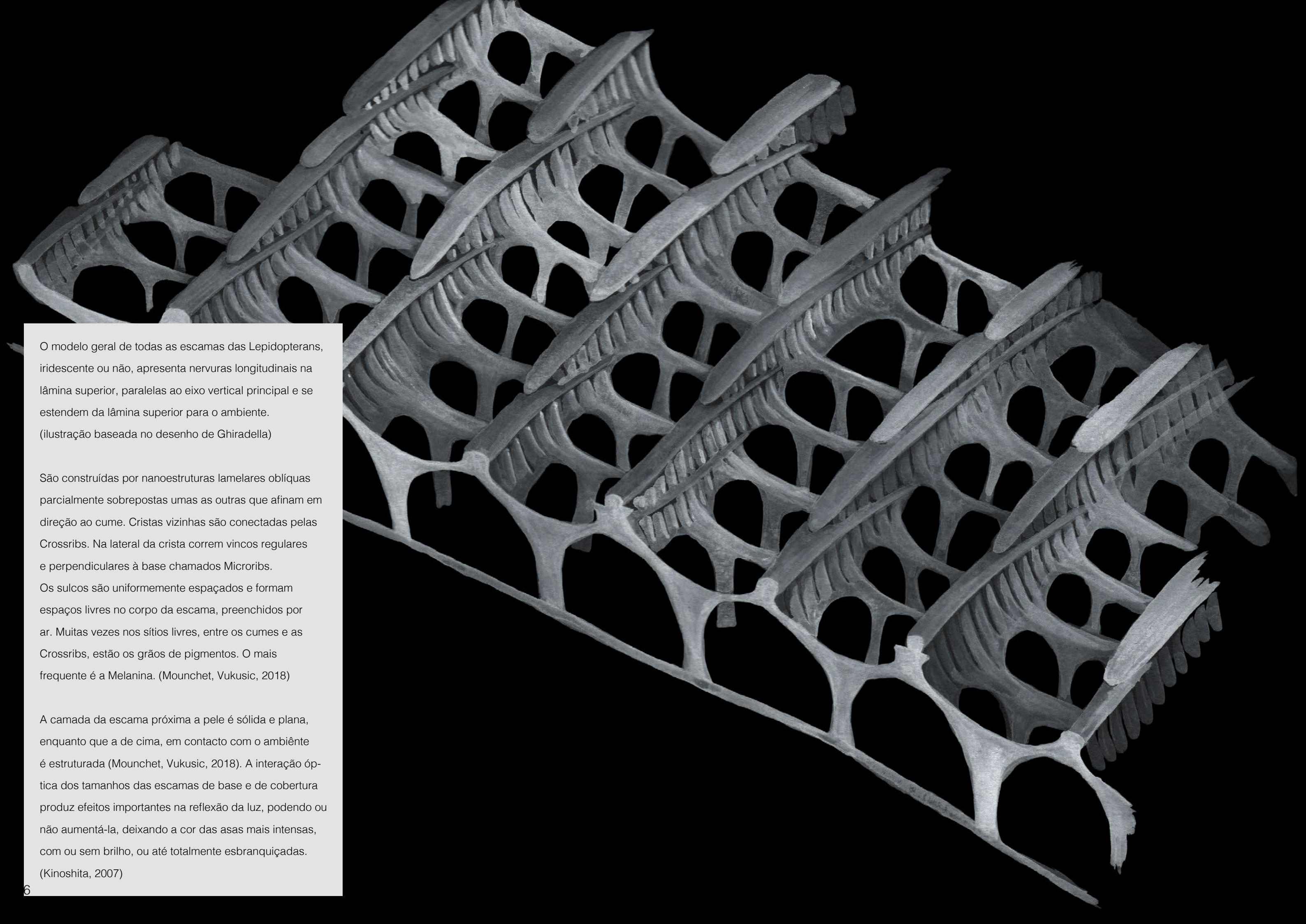
Desenvolvimento da célula em escama. A Ilustração é baseada no desenho de Kohn, 1955.

Apresentam dois tipos de escamas: Escamas de Cobertura ou Escamas de Vidro e as Escamas de Base ou Escamas de Chão. (Kinoshita, 2007).

As escamas das borboletas e mariposas se originam de uma célula epitelial que recebe a ordem do ADN para se transformar numa Célula Precursora de Órgãos Sensoriais - CPOS. Depois ela se divide e multiplica em séries com formatos estereotipados, cuja progênie possui funções bem definidas, como os neurônios, órgãos e as escamas. (Ghiradella, 2009). Algumas das CPOS apresentam o primeiro estágio reconhecível da escama e passam a ser as células-mãe de todas as outras semelhantes, que crescem espalhadas irregularmente

pela membrana da asa. Em seguida, elas se alinham em colunas e espaços regulares. (Kinoshita, 2007) Depois, a célula-mãe das escamas divide-se duas vezes. Na primeira divisão, uma parte possui orientação perpendicular ao plano da asa e a outra localiza-se abaixo da inicial e degenera-se. Da segunda segmentação, resultam-se dois corpos: a célula fabricante da escama e a célula produtora do “póro”, conhecido como socket pela qual a haste da escama ficará presa quando totalmente desenvolvida. A escamóide então expande-se por dentro da célula formadora do socket que atua como um molde, e sai na forma de um cilindro estreito. Esta então se desenvolve, assume o formato achatado e característico da escama madura. (Kinoshita, 2007)





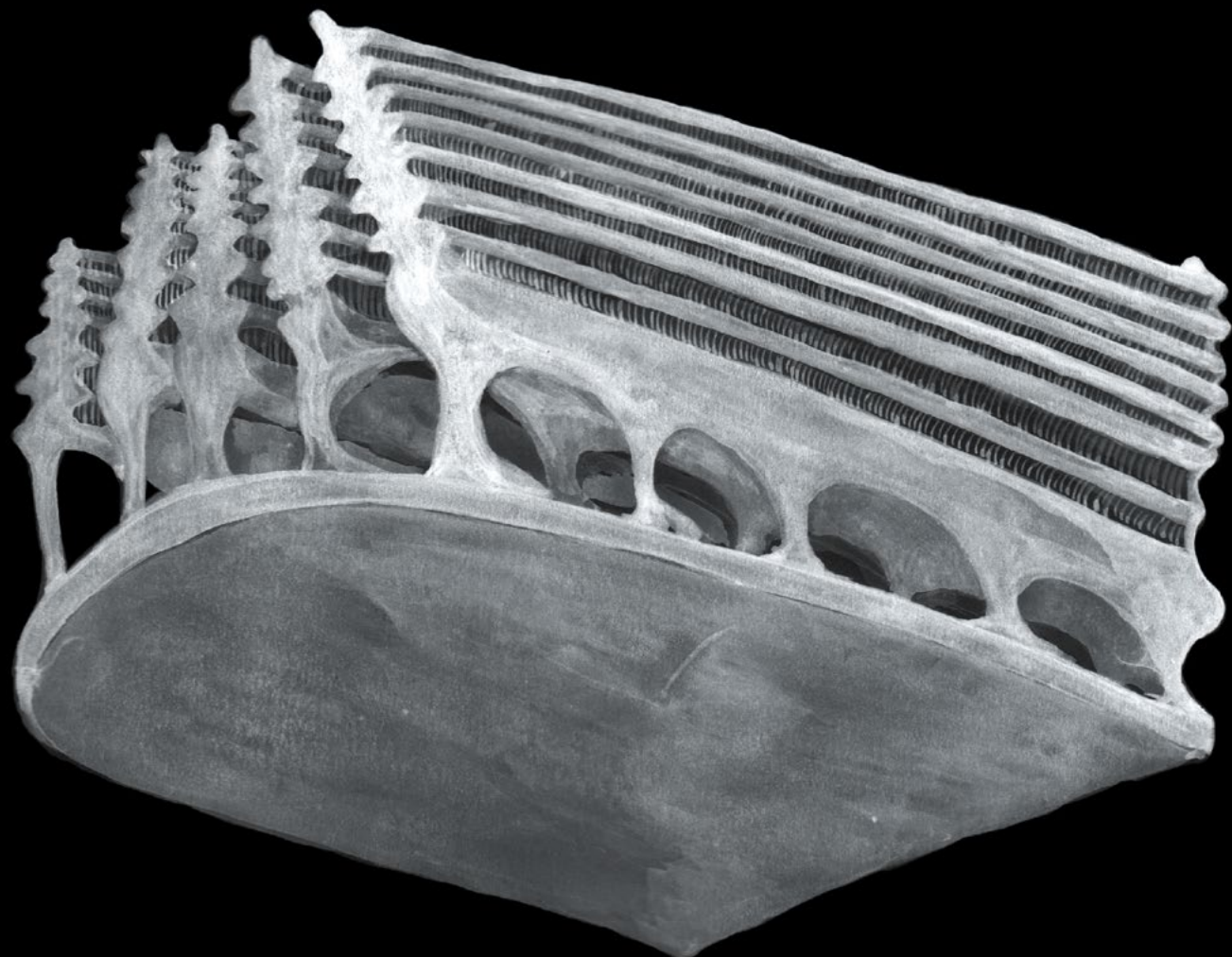
O modelo geral de todas as escamas das Lepidopterans, iridescente ou não, apresenta nervuras longitudinais na lâmina superior, paralelas ao eixo vertical principal e se estendem da lâmina superior para o ambiente.
(ilustração baseada no desenho de Ghiradella)

São construídas por nanoestruturas lamelares oblíquas parcialmente sobrepostas umas as outras que afinam em direção ao cume. Cristas vizinhas são conectadas pelas Crossribs. Na lateral da crista correm vincos regulares e perpendiculares à base chamados Microribs. Os sulcos são uniformemente espaçados e formam espaços livres no corpo da escama, preenchidos por ar. Muitas vezes nos sítios livres, entre os cumes e as Crossribs, estão os grãos de pigmentos. O mais frequente é a Melanina. (Mouchet, Vukusic, 2018)

A camada da escama próxima a pele é sólida e plana, enquanto que a de cima, em contacto com o ambiente é estruturada (Mouchet, Vukusic, 2018). A interação óptica dos tamanhos das escamas de base e de cobertura produz efeitos importantes na reflexão da luz, podendo ou não aumentá-la, deixando a cor das asas mais intensas, com ou sem brilho, ou até totalmente esbranquiçadas.
(Kinoshita, 2007)

LEPIDOPTERAN

Morfologia das Estruturas Fotônicas

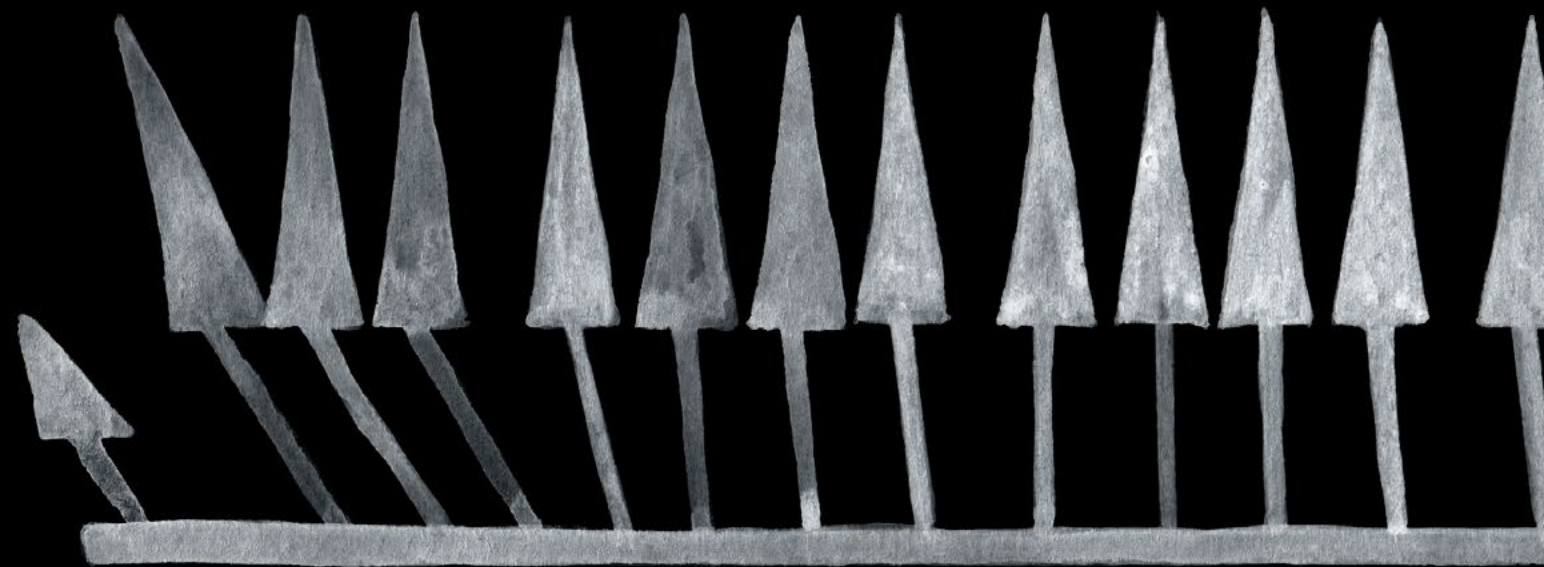


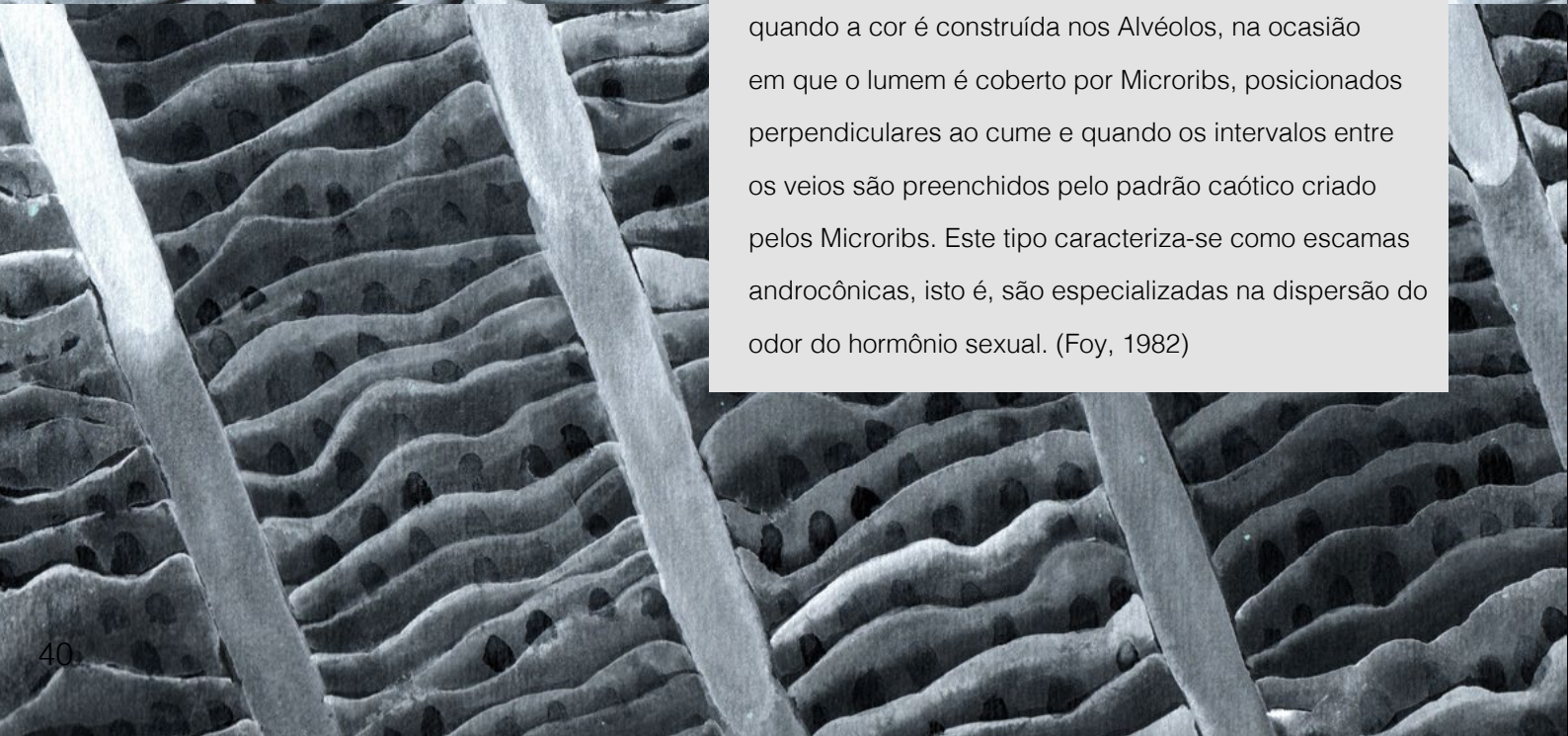
A

morfologia das escamas foi classificada em três categorias conforme a zona de maior desenvolvimento, pela cientista Helen Ghiradella. Todas elas são variações do modelo

geral descrito anteriormente. A primeira categoria agrega os exemplos de cume mais desenvolvidos, a segunda, a área do Crossribs e a terceira, o Lúmen e a Trabécula.

O tipo 1 é caracterizado pelas lâmelas em cume, dispostas em múltiplas camadas muito próximas na angulação de 10 graus com o plano. Correspondem as cores iridescentes, cujas estruturas são caracterizadas por veios que correm paralelos ao longo da escama com separações constantes de aproximadamente 1 μ m. Abaixo deles, encontra-se as Trabéculas responsáveis pelo seu suporte e conexão com a base da escama. Todo o restante é espaço aberto,





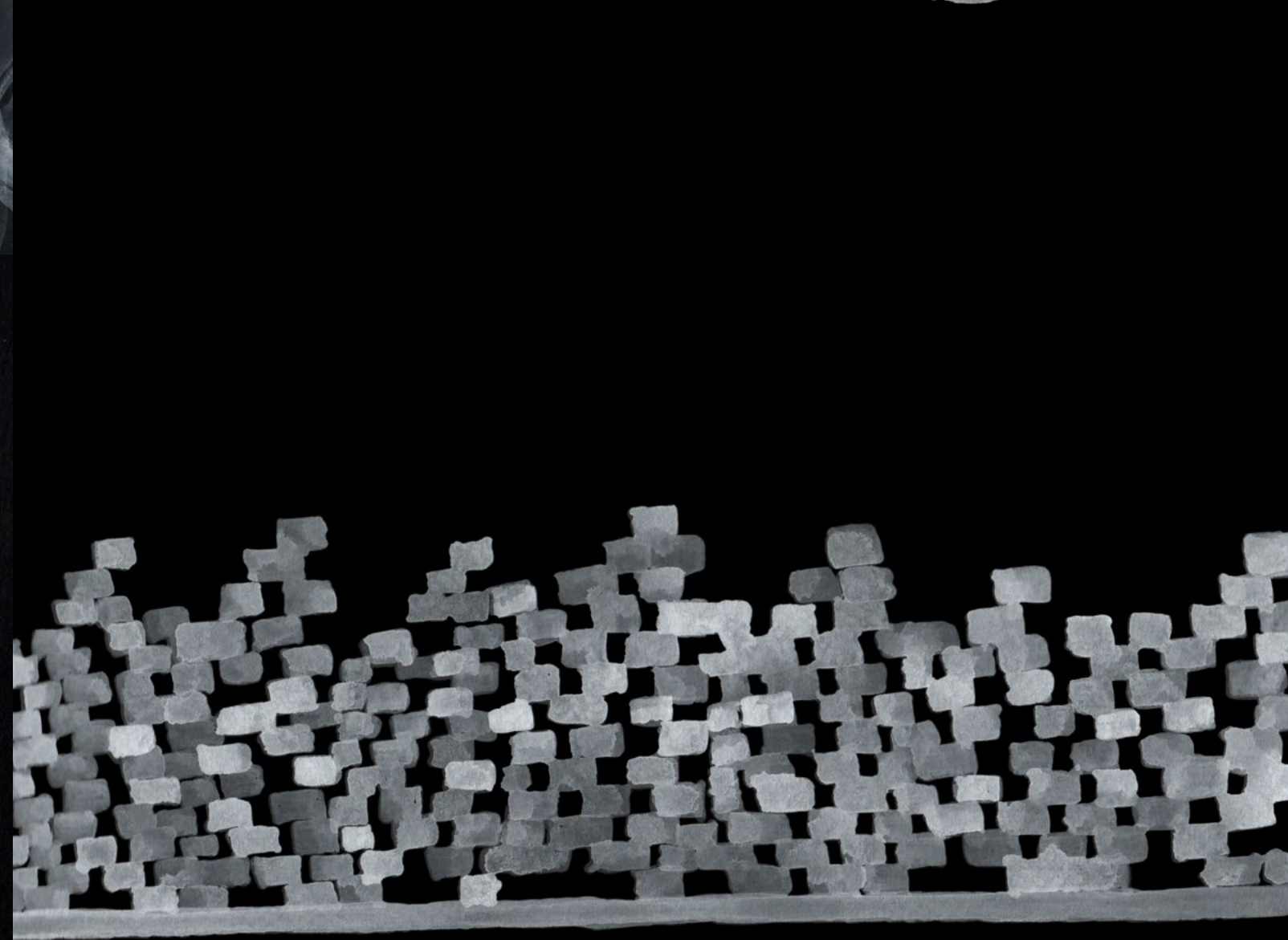
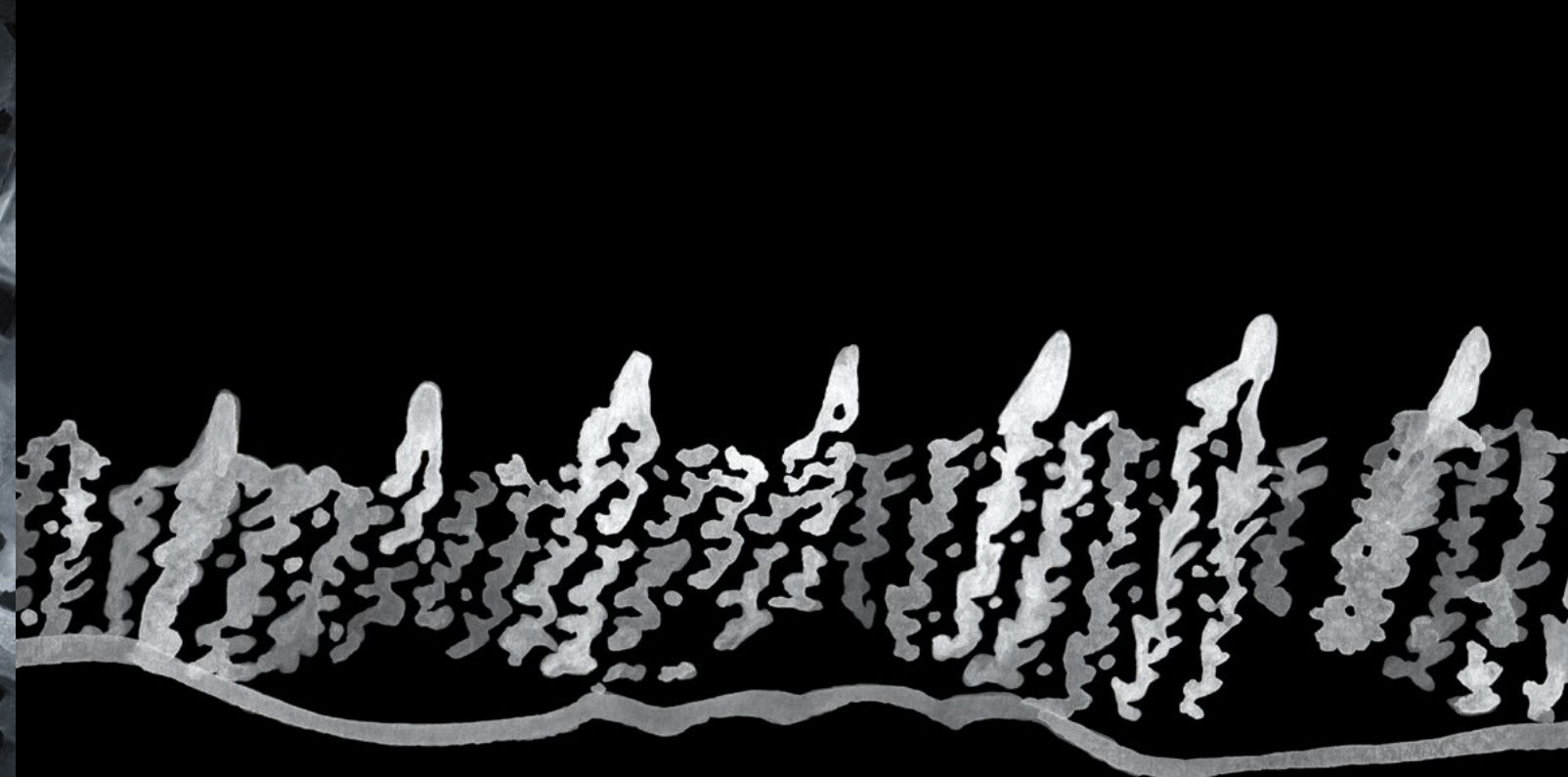
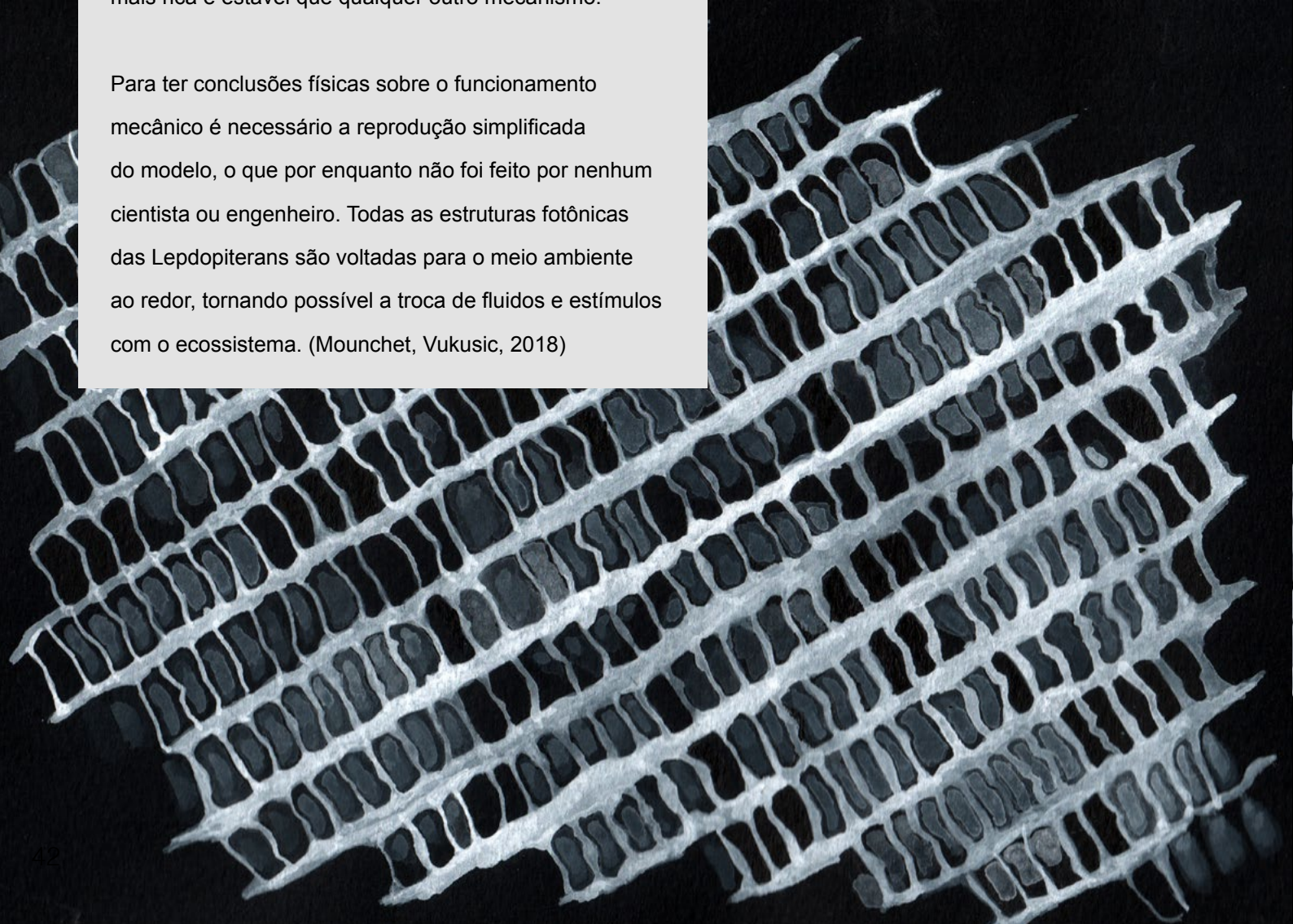
O tipo 2 produz as cores iridescentes planas, por exemplo: apenas azuis ou apenas verdes. As estruturas são identificadas em três categorias: quando a cor é construída nos Alvéolos, na ocasião em que o lumem é coberto por Microribs, posicionados perpendiculares ao cume e quando os intervalos entre os veios são preenchidos pelo padrão caótico criado pelos Microribs. Este tipo caracteriza-se como escamas androcônicas, isto é, são especializadas na dispersão do odor do hormônio sexual. (Foy, 1982)





E o tipo 3, as Trabéculas desaparecem e a sobreposição das camadas sustenta mecanicamente a conjuntura da escama. Produz cores iridescentes no lúmen, preenchido de dois modos: 1) as estruturas em lâminas com furos espalhados aleatoriamente, são responsáveis pela Interferência por múltiplas camadas. 2) as camadas furadas formam juntas o efeito tridimensional do cristal fotônico, ou seja, a interação das bandas de cor é muito mais rica e estável que qualquer outro mecanismo.

Para ter conclusões físicas sobre o funcionamento mecânico é necessário a reprodução simplificada do modelo, o que por enquanto não foi feito por nenhum cientista ou engenheiro. Todas as estruturas fotônicas das Lepdopiterans são voltadas para o meio ambiente ao redor, tornando possível a troca de fluidos e estímulos com o ecossistema. (Mouchet, Vukusic, 2018)



LEPIDOPTERAN

Morpho

O

s estudos sobre as Morphos começaram na década de 1920, com H. Onslow e continuam até a atualidade. Após os anos 1990, as pesquisas se intensificaram e rapidamente progrediram devido ao interesse das indústrias de tintas, automobilísticas, cosméticos e têxtil em desenvolver tecnologia que mimetizam as estruturas fotônicas, produzindo cores gentis aos olhos humanos assim como para o meio ambiente.

Muitas espécies foram observadas e percebeu-se enorme variação da mesma estrutura e a consequência disso no resultado da cor e metabolismos das espécies Morpho. O modelo natural escolhido foi a *Morpho didius* devido a maior quantidade de informações a respeito dessa espécie.

LEPIDOPTERAN

Evolução das Morpho

A

espécie Morpho faz parte da super família Nymphalidae e está dentro da subfamília Morphinae, que são classificadas em três gêneros, as Morphini, Brassolini e Amathusiini. As Morphinis incluem duas subtribos: a Antirreithi, integrada pelos gêneros Caerois e Antirreitha; e a outra é Morphiti, constituída por apenas um gênero, Morpho. Foram feitas observações e importantes considerações na compreensão da evolução das asas azuis brilhantes das borboletas Morpho e o contexto do meio ambiente. (Kinoshita, 2007)

Uma vez que a iridescência azul foi adquirida como característica, o grupo passou por contínuas separações. As características mais marcantes ainda na primeira ramificação eram asas relativamente pequenas de cor azul pálido e habitavam o estrato arbustivo.

Em seguida esse grupo se separou e ocupou diferentes estratos florestais: o primeiro, permaneceu no estrato arbustivo (Morpho aega), enquanto o outro grupo passou a frequentar o estrato arbóreo inferior ou sub bosque (Morpho adonis). Em seguida ocorreram drásticas mudanças que as fizeram mudar de plantas hospedeiras no estado larval, migrando das monocotiledôneas para as dicotiledoneas e ao mesmo tempo um enorme bando de Morphos passou a ter asas grandes e a hospedar o estrato arbóreo médio teto ou dossel. (Kinoshita, 2007)

Essa mudança foi tão radical que muitas perderam o azul iridescente como característica e desenvolveram cores diferentes (M. perseus). Outras fortaleceram a coloração azul, diminuindo a quantidade de escamas de cobertura e expondo as escamas de base (M. rhetenor). (Kinoshita, 2007)

O bando que permaneceu no estrato arbustivo apresentava Escamas de Cobertura maiores que as demais, resultando em indivíduos com asas cada vez mais brancas, a perda da iridescência e na migração dos mesmos para o estrato arbóreo inferior (M. catenarius). Possivelmente, o grupo mais evoluído manteve a coloração azul, porém apenas com uma faixa larga (M. achilles) (Kinoshita, 2007).



MONOCOTILEDONEA



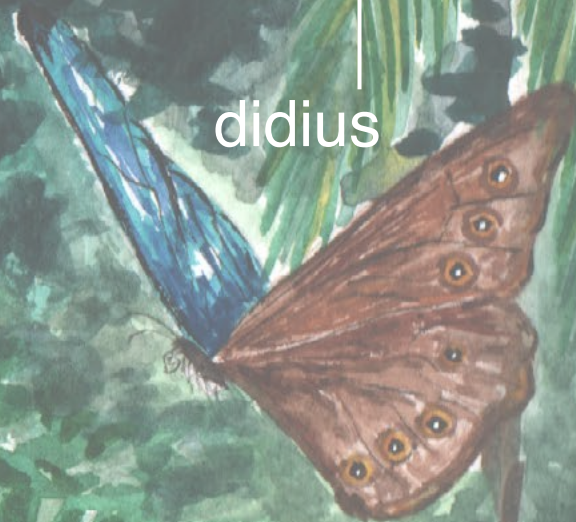
DICOTILEDONEA

Morpho

aega



dídius



cathenárius



aquilles



rhetenor



adonis



LEPIDOPTERAN

Morpho didius



A

borboleta Morpho didius habita florestas tropicais do continente Centro-Sul Americano, como a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica. São encontradas predominantemente no estrato florestal sub-bosque. Disputam espaço nas áreas alagadas ou trechos de riachos dentro da mata fechada.



Se alimentam de frutas podres, matérias de animais em decomposição, seiva, fungos e dos minerais da lama e urina, cooperando com a regeneração o solo. Seus principais predadores são as aves, rãs e lagartos. Possui quatro estágios de vida: ovos, larva, crisálida e borboleta adulta. Seu ciclo de vida dura em torno de 115 dias e sua envergadura pode chegar a 15cm. (R. F. Chapman, 1998)

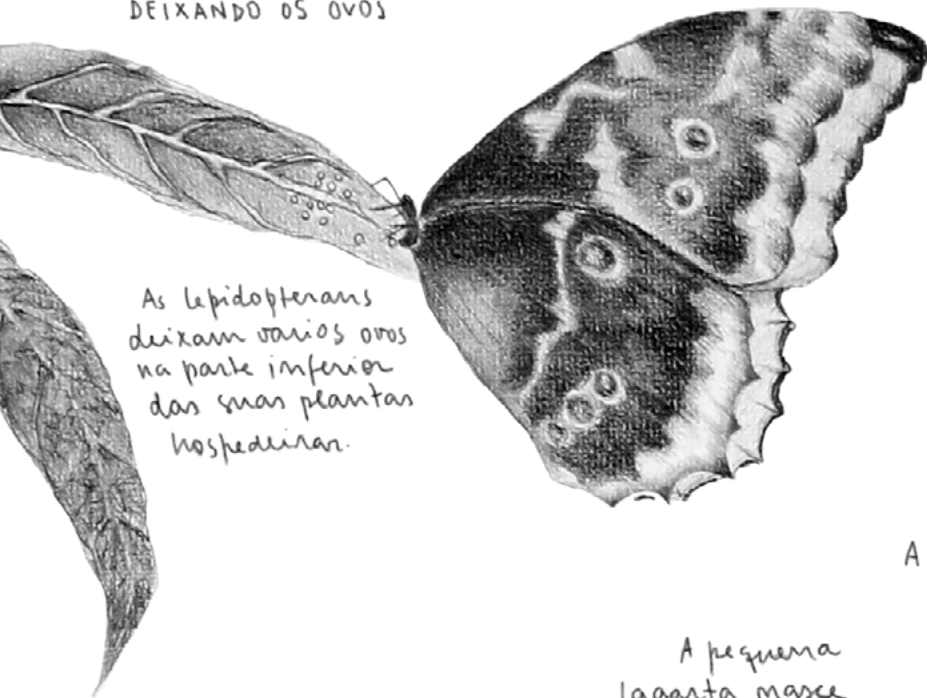


Se alimentam de frutas podres, matérias de animais em decomposição, seiva, fungos e dos minerais da lama e urina, cooperando com a regeneração o solo. Seus principais predadores são as aves, rãs e lagartos. Possui quatro estágios de vida: ovos, larva, crisálida e borboleta adulta. Seu ciclo de vida dura em torno de 115 dias e sua envergadura pode chegar a 15cm. (R. F. Chapman, 1998)

No geral, são 5 fases como larva e lagarta, seguida de uma dramática saída da sua própria pele para desidratar e se transformar num casulo, que fica da mesma cor que o lugar escolhido pela lagarta para sua metamorfose. Quando pronta, a borboleta abre seu casulo e sai muito

inchada e com as asas ainda em formação, como se estivessem úmidas. Esse inchaço é um líquido que ela vai colocando para fora e simultaneamente as asas vão terminando de se formar. Quando prontas, elas voam.

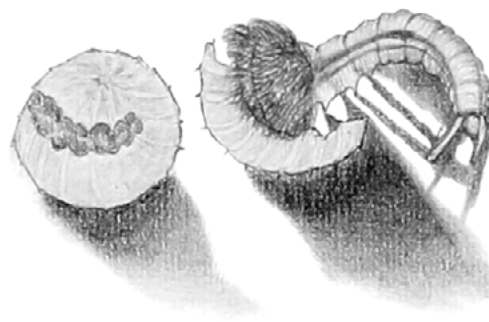
Um dos aspectos mais notáveis das asas dessas borboletas é a intensidade e iridescência do azul. Quando observada sob diferentes pontos de vista, expõe a sensibilidade da coloração refletida.



As lepidópteros deixam vários ovos na parte inferior das suas plantas hospedeiras.

② A SAÍDA DO OVO

A pequena lagarta nasce de seu ovo comendo-o sendo essa sua primeira refeição.



③ AS FASES DE LAGARTA

As lagartas possuem cinco fases de desenvolvimento, as quais apresentam diferentes aspectos físicos.

Na sua última etapa, a lagarta sai de sua própria pele e se prepara para mais uma metamorfose.

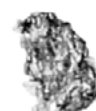
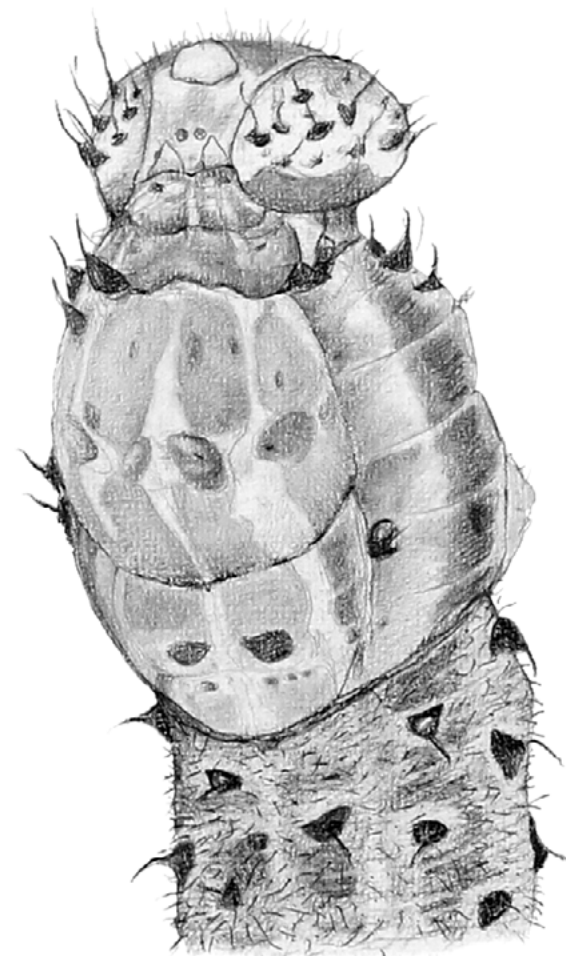
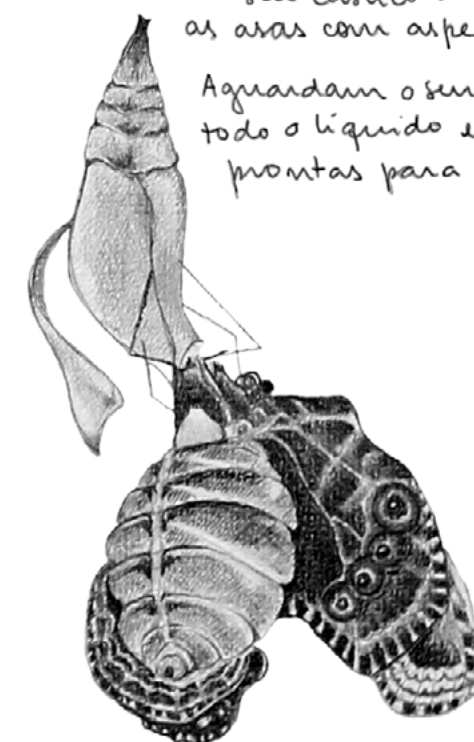
⑤ O RENASCIMENTO

Quando pronta, a borboleta sai do seu casulo super inchada e com as asas com aspecto úmido.

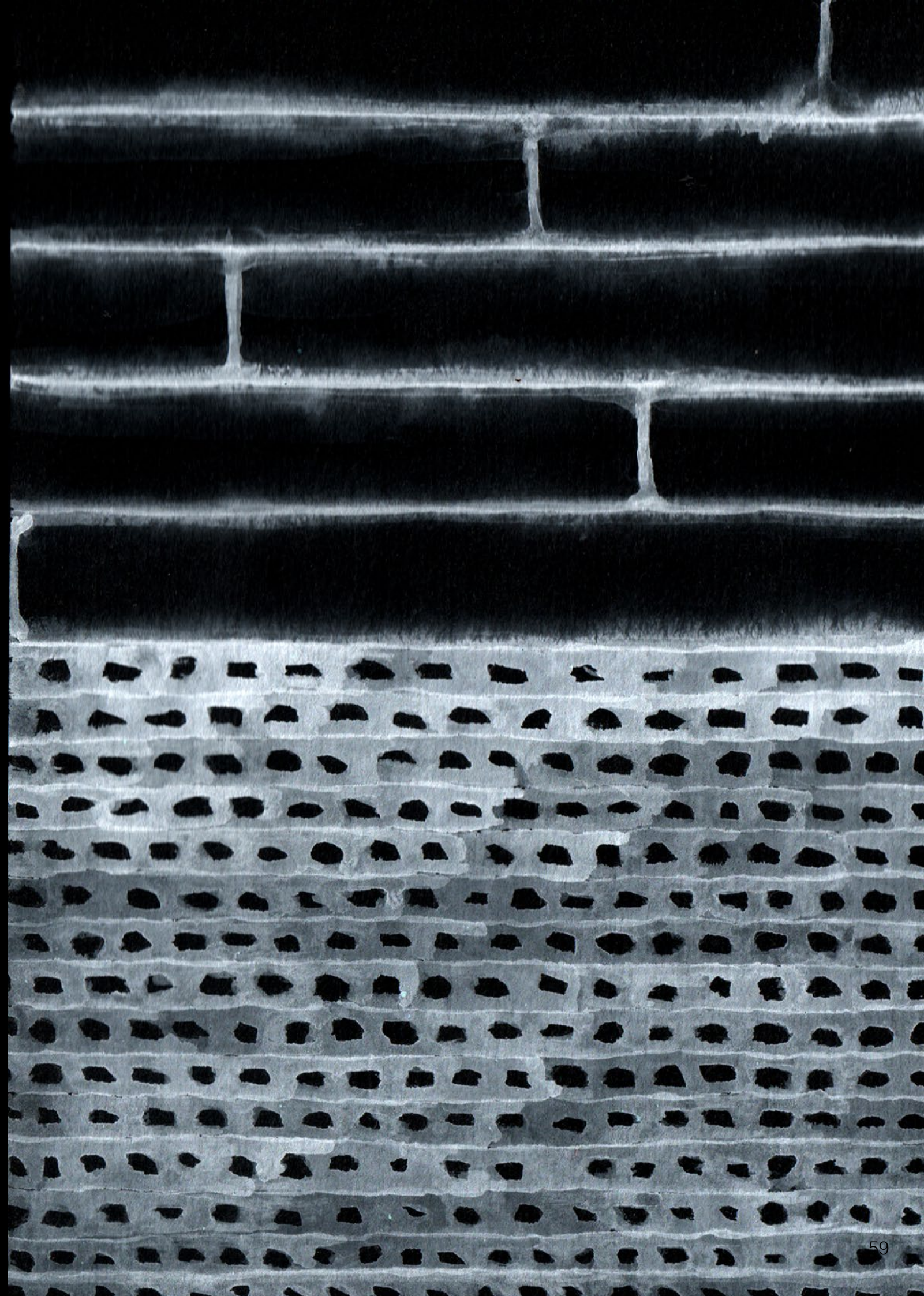
Aguardam o seu corpo expelir todo o líquido e as asas ficarem prontas para voarem.

④ O CASULO

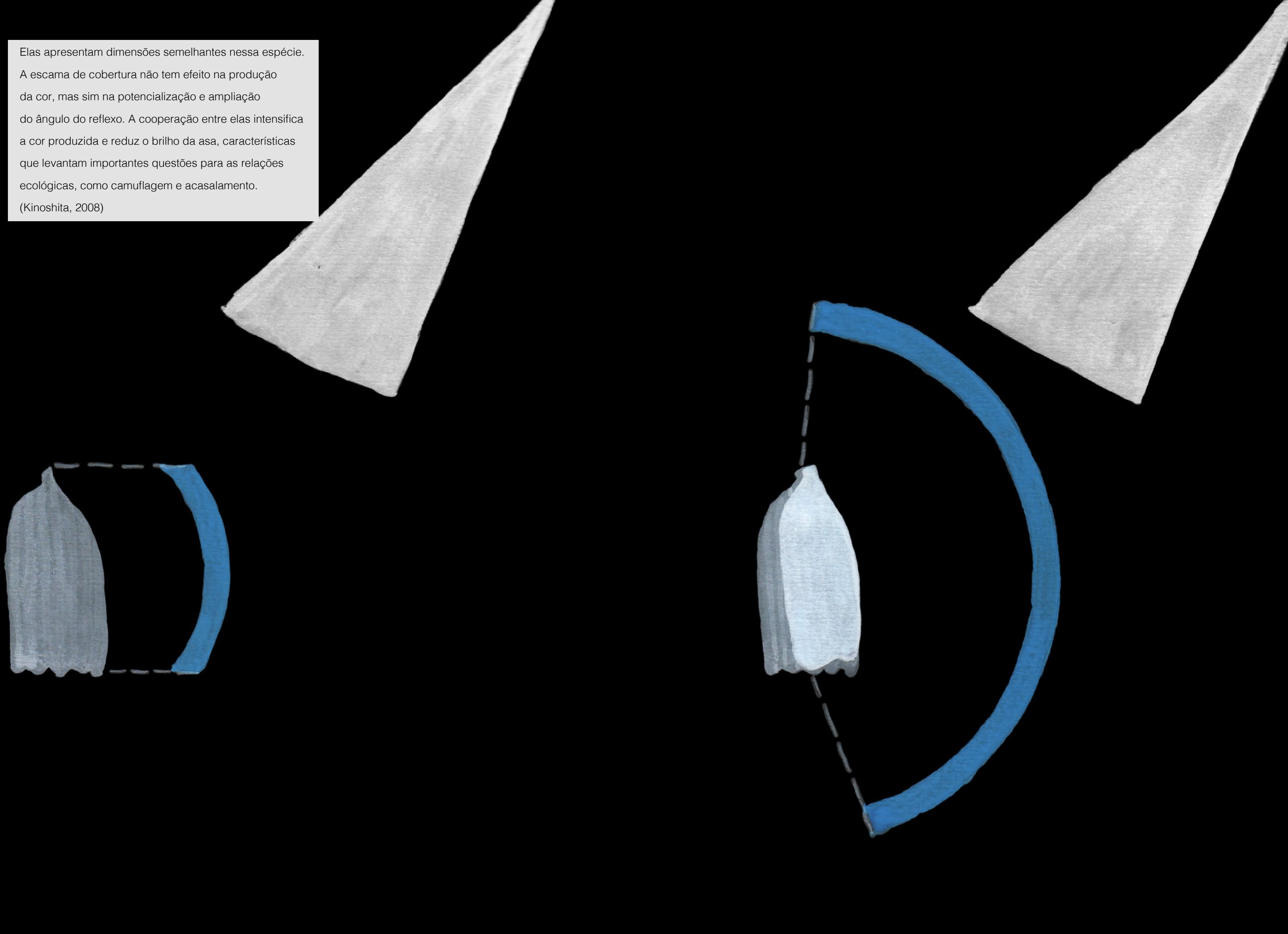
Depois de sair de sua pele e agarrada ao lugar que escolheu a transformação começa e sua camada mais superficial enrijece.



Isso é o resultado da combinação das escamas de Base e Cobertura. A primeira, possui o recorte em zig zag, maior quantidade de veios com menor espaçamento entre eles e a presença do pigmento. E a segunda, são transparentes, retangulares e ligeiramente delgadas, com menor quantidade de veios e sem pigmentação (Kinoshita, 2008)



Elas apresentam dimensões semelhantes nessa espécie.
A escama de cobertura não tem efeito na produção da cor, mas sim na potencialização e ampliação do ângulo do reflexo. A cooperação entre elas intensifica a cor produzida e reduz o brilho da asa, características que levantam importantes questões para as relações ecológicas, como camuflagem e acasalamento.
(Kinoshita, 2008)



A iridescência na parte dorsal da asa ajuda na distração e confusão do predador sobre seus limites e o seu real tamanho. Quando paradas, as borboletas se camuflam com as asas fechadas, que possui padrão de cores marrom, se misturando com o ambiente, garantindo sua sobrevivência e poupando energia.

(R. F. Chapman, 1998)





M. didius apresenta dimorfismo sexual: os machos possuem iridescência forte e as fêmeas o colorido mais estável. Na asa masculina estão presentes escamas especializadas e associadas a glândulas com o objetivo de espalhar o feromônio afrodisíaco e eles costumam voar em estratos florestais um pouco mais alto, podendo atingir a marquise das árvores, com a finalidade de espalhar seu rastro de cima, que caem sobre as fêmeas, pousadas logo abaixo, atraindo-as. (R. F. Chapman, 1998)

JCTC.

As escamas também são termo reguladores e estão presentes no corpo da borboleta, funcionando como uma camada isolante que mantém a temperatura torácica alta. Para manter a temperatura do corpo saudável, a borboleta evita lugares muito quentes ou muito frios, pois isso afeta diretamente seu metabolismo, deixando-o mais ativo ou lento, respectivamente.
(R. F. Chapman, 1998)



O formato das asas está diretamente relacionado ao contexto aerodinâmico. As bases largas da *M. didius* indicam a capacidade de voo rápido e as escamas presentes na sua superfície exercem a terceira função de suavizar o contato do ar com a própria asa e corpo da borboleta. (R. F. Chapman, 1998)

Portanto, toda forma, cor e estrutura de um organismo está relacionada alguma necessidade criada pelo contexto. A escama, estrutura singular, possui três objetivos, que são manter o calor, dispersar hormônios e influência na aerodinâmica. Nenhum deles é a produção da cor. Esta, nesse caso, é uma consequência.



LEPIDOPTERAN

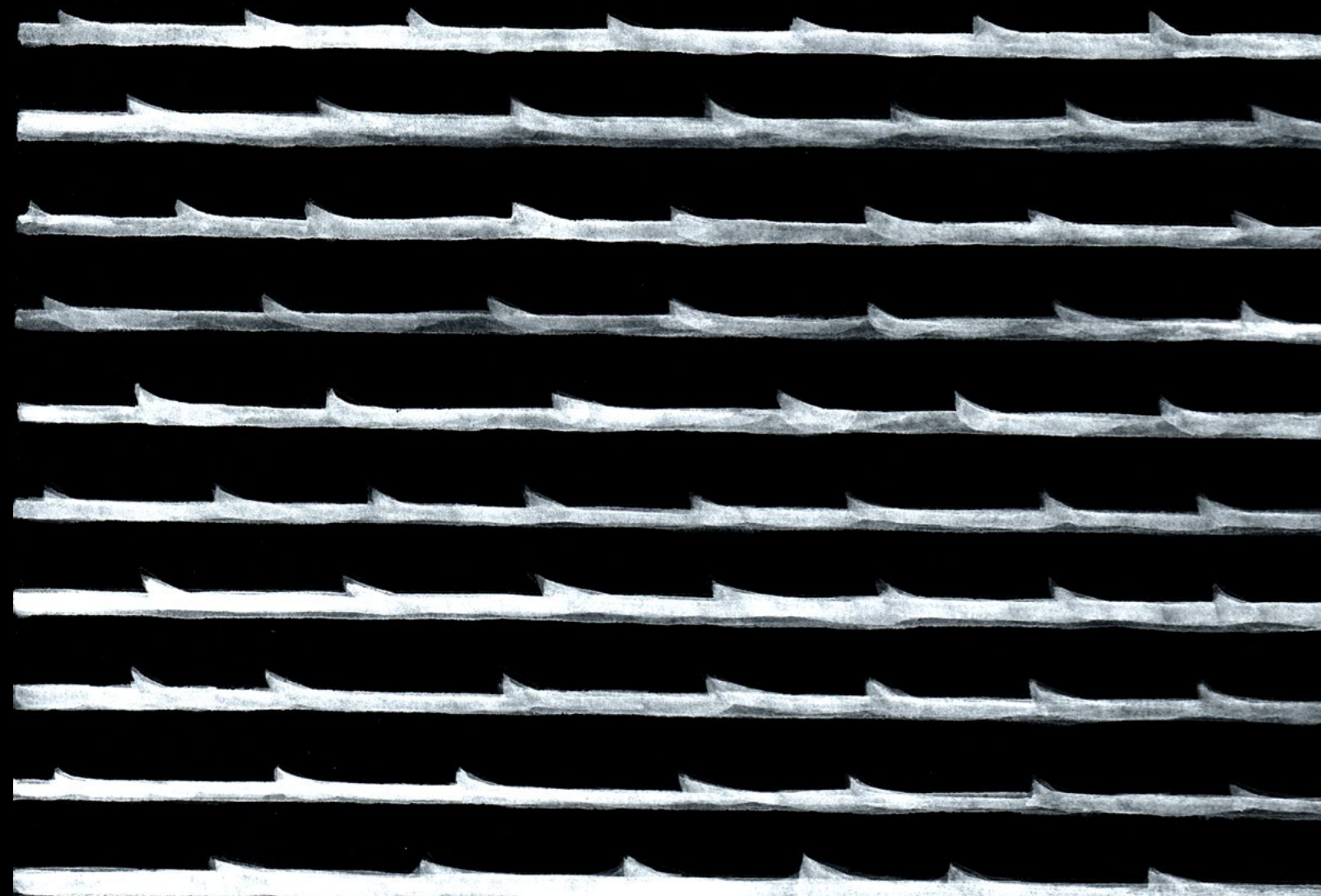
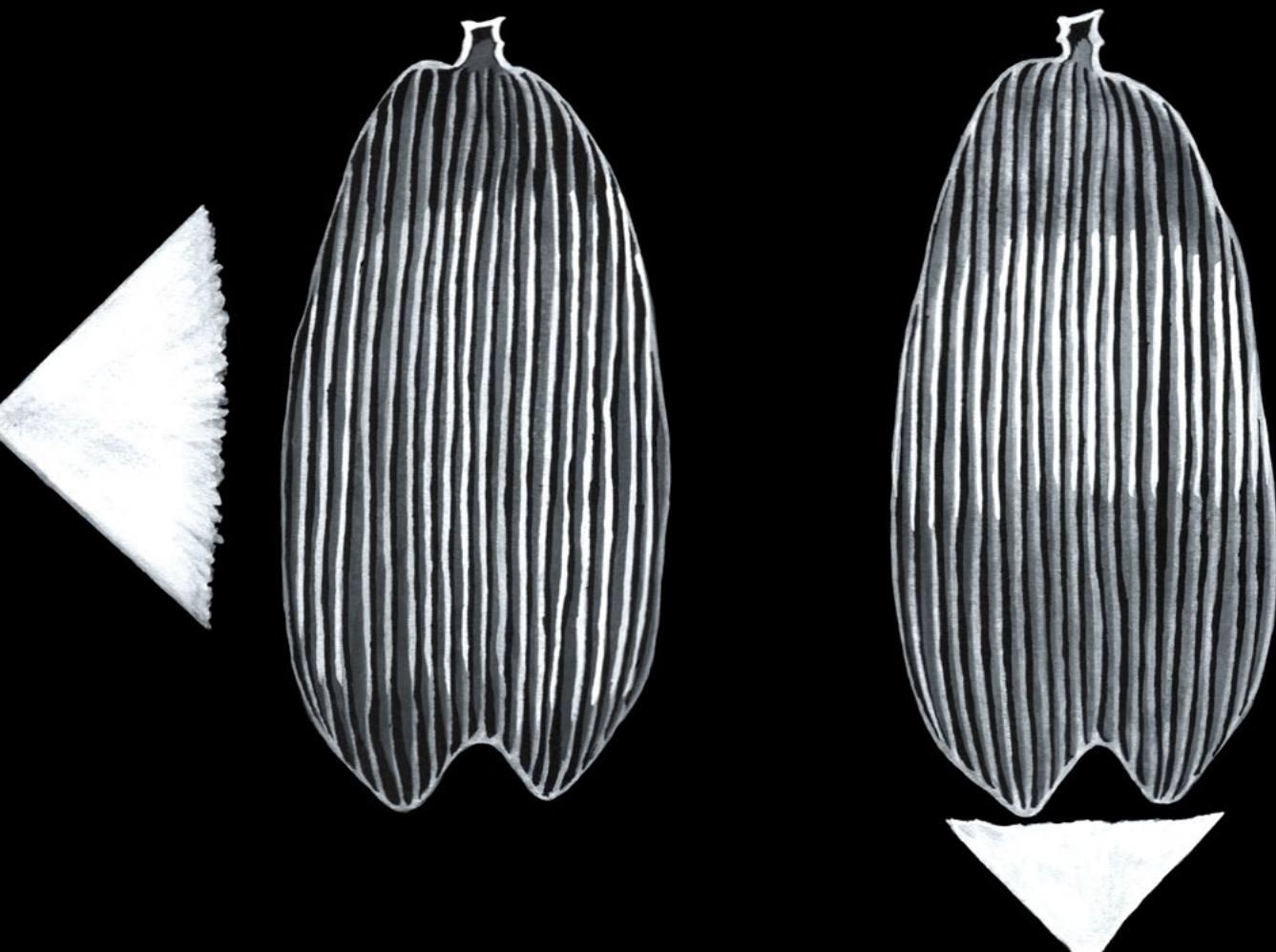
O Azul e a Iridescencia

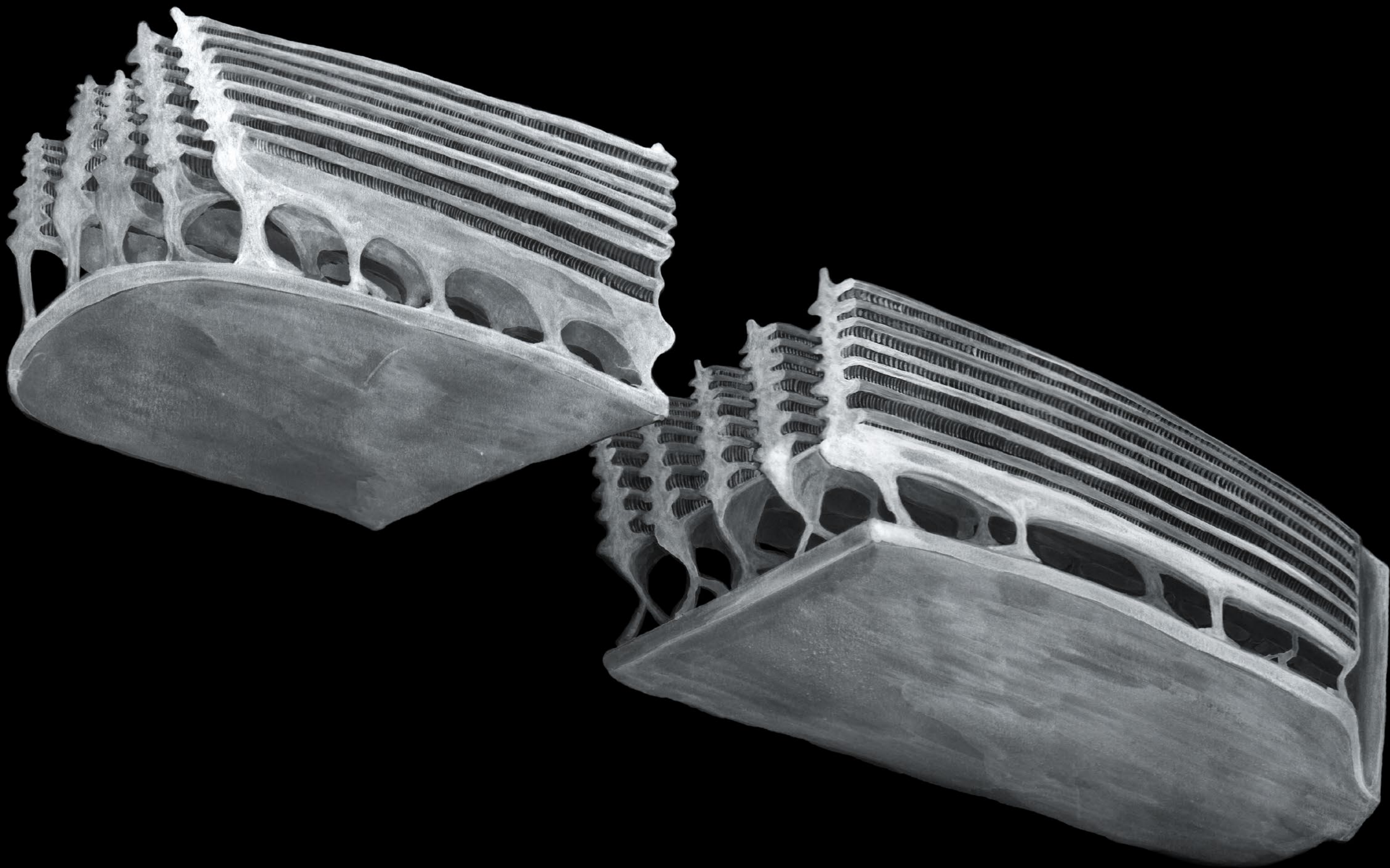
O

azul comporta-se de formas diferentes consoante à direção em que a luz atinge as escamas. Quando a incidência é paralela aos veios, o intervalo angular da reflexão é menor. Se perpendiculares às estruturas, o intervalo é maior.

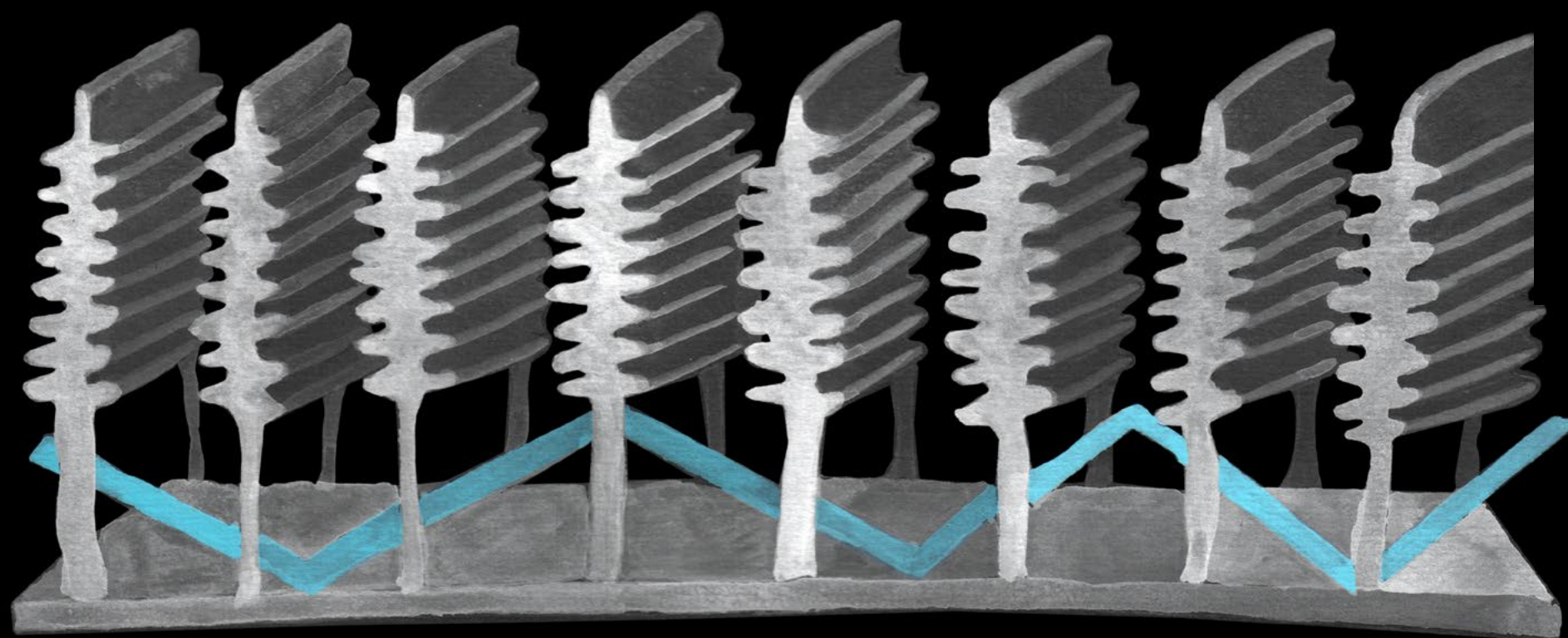
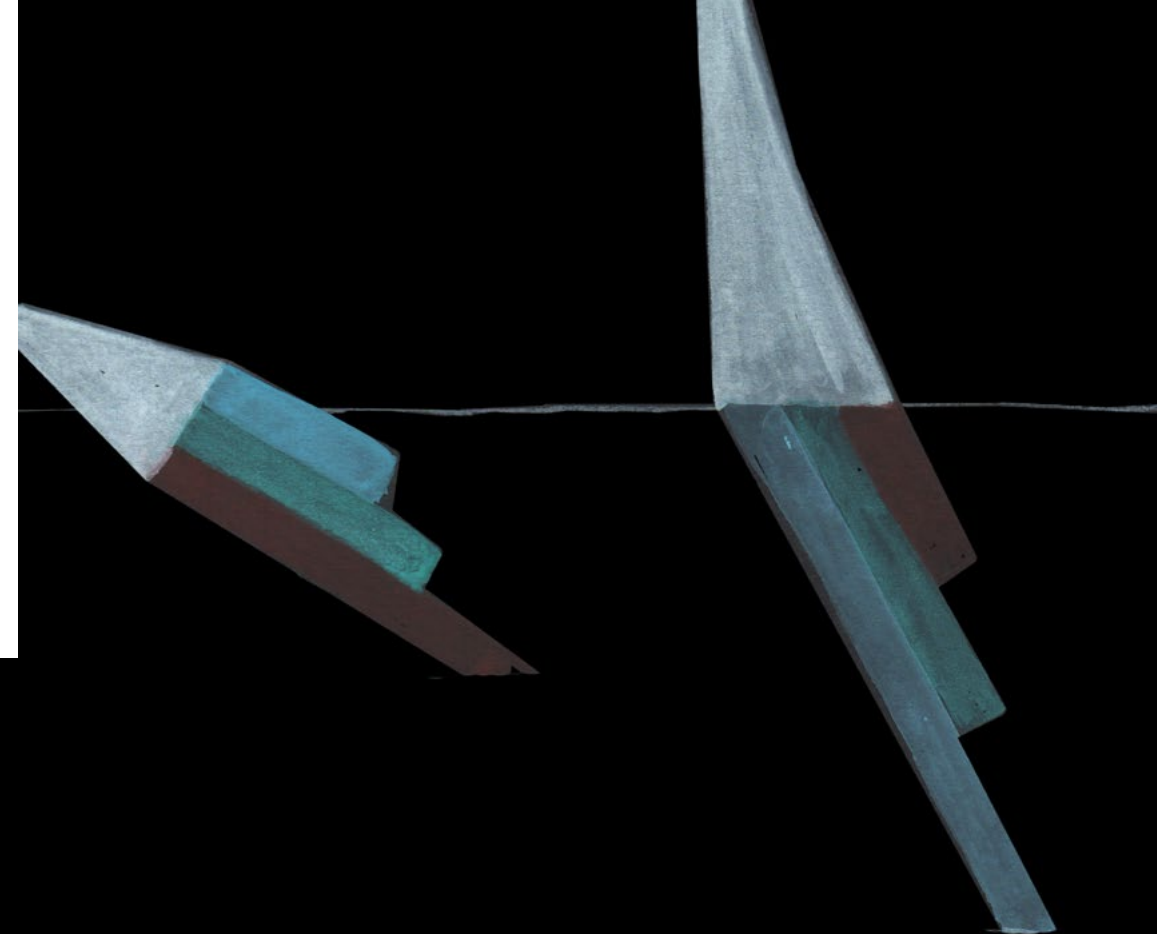
Isso é consequência do efeito de difração, causado pela organização das estruturas dos veios que se assemelham a Prateleiras e Estantes.

No topo dos veios, pequenos cumes salientes ditribuem-se aleatoriamente e atuam como difusores, pois deixa a superfície menos lisa.(Kinoshita, 2007)





Na base da escama de cobertura ocorre o fenómeno Interferência do Filme Fino. Como explicado na sessão anterior, uma parte da luz transmitida reflete entre as duas superfícies das escamas, ocorrendo interferências entre os comprimentos de onda. O resultado disso é a maior gama de comprimentos azuis refletidos, principalmente os mais claros. (Kinoshita, 2007)



Sobre os comprimentos de onda mais curtos (>300 , <420), a distribuição tem mais força em torno dos 30 graus e começa a ter pouca intensidade entre 40 - 70 graus. Já os mais longos têm o máximo de reflexão nos ângulos próximos aos 60 graus.

Foi feito o experimento de avaliação da influência do número de veios no resultado do reflexo. Nas análises feitas na escama de cobertura da *M. didius*, separou-se partes com 3, 6 e 9 estantes. O teste mostra que o aumento do número de veios acentua o efeito de interferência destrutiva, ou seja, a perda de luz. O número de veios e seus intervalos são inversamente proporcionais a intensidade do reflexo: quanto maior a quantidade e o espaço entre eles, menor a potência do reflexo e vice-versa. (Kinoshita, 2007)

Depois de tantos anos de investigação concluiu-se que o azul iridescente das asas das borboletas *Morpho* é consequência da interação da luz com as respectivas nanoestruturas das escamas somadas a presença do pigmento melanina.

Nessa relação ocorrem os fenômenos ópticos de Difração, Interferência Destrutiva e Construtiva e absorção de comprimentos de onda, resultando na reflexão do azul. A distribuição aleatória de picos mais altos ao longo dos veios deixa a superfície mais rugosa, resultando na difusão do reflexo e na cor mais estável. Os efeitos das interferências construtivas e destrutivas que ocorrem nas prateleiras é influenciado pelo número de estantes que cada uma apresenta, além das distâncias entre os veios e a diferença entre os índices de refração, que também influencia na intensidade do reflexo por alterar a velocidade da propagação da luz. O formato delgado contribui para o efeito de difração anisotrópica, quer dizer, propriedades físicas que alteram conforme o ângu-

lo de visão. O índice de reflexão mais alto é atingido quando os veios apresentam a média de 6 a 10 prateleiras. O pigmento, posicionado abaixo dos arranjos da superfície superior da escama absorve a cor complementar e acentua a intensidade do azul. Enquanto que a redução da quantidade de pigmento deixaria a borboleta esbranquiçada pelo excesso de luz refletida. A coexistência entre a regularidade e irregularidade nas estruturas somada a cooperação do pigmento são essenciais para a cor estrutural nas borboletas *morpho* (Kinoshita, 2007).

